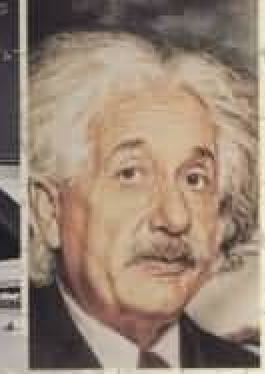






知识地图

立体解读各个时代人类知识的发展历史

KNOWLEDGE MAP

（全彩文图藏本）

孙肇伦 钱逊 编著

纵横对话 文化书丛

重庆出版集团 重庆出版社


孙肇伦 魏 逊 编著
知识地图
立体解读各个时代人类知识的发展历史
—KNOWLEDGE MAP—
（全彩文图藏本）
重庆出版集团 重庆出版社

图书在版编目（CIP）数据

知识地图 / 孙肇伦，钱 逊编著. —重庆：重庆出版社，2007.9
ISBN 978-7-5366-8864-3

Ⅰ. 知… Ⅱ. ①孙… ②钱… Ⅲ. 自然科学史—世界—通俗读物
Ⅳ.N091 - 49

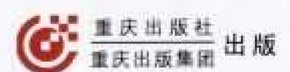
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 081322 号

知 识 地 图

ZHI SHI DI TU

孙肇伦 钱 逊 编 著

出 版 人：罗小卫
策　　划：刘太亨 陈 慧
责任编辑：朱子文 徐莹婕
责任校对：李小君
装帧设计：日日新文化



出版

重庆长江二路 205 号 邮编：400016 http://www.cqph.com
重庆裕城电脑制版输出中心制版
重庆长虹印务有限公司印刷
（重庆市长江一路 69 号 邮编：400014）
重庆出版集团图书发行有限公司发行
E-MAIL: fxchu@cqph.com 邮购电话：023-68809452
全国新华书店经销

开本：787mm × 1092mm 1/16 印张：26.5 字数：500 千
2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷
印数：1-10 000
ISBN 978-7-5366-8864-3
定价：68.00 元

如有印装质量问题，请向本集团图书发行有限公司调换：023-68809955 转 8005

前言

科学知识是人类文明史中最引以自豪的财富，它揭示了比人类自身古老得多的整个宇宙的奥秘，以及人类自身的秘密；它创造出了一个足够丰富的知识世界，同时也创造了人类自身的非凡智慧。人类探索与发现自然知识的历史，本身就是通过知识认识自己的历史。

古代世界相对先进的技术和科学知识，相继出现在北非的尼罗河流域、西亚的两河流域、东亚的黄河和长江流域、南亚的印度河和恒河流域、地中海沿岸的希腊和罗马地区。公元7世纪，亚洲西部的阿拉伯人也迅速掌握了古代世界的科学知识，并通过这些知识的传播沟通了西方和东方世界。在整个古代，许多科学技术成果，如阳历和阴历，节气、月、星期和其他时间单位的划分，恒星天区的划分和名称，数学的基础知识和十进制位值计数法、印度一阿拉伯数字、造纸术、印刷术等等，都已深深镶入整个人类文明大厦的基础之中。从15世纪起，科学的发展取得革命性突破，并在20世纪成为一种具有世界性特色的全球互通的文化。在这一过程中，数学、天文学、化学、物理学、医学、动植物学等各门科学都从不同角度和层次，描绘了人类眼里和心中的自然图景，展示了人类对自然界认识的改变和进步历程，这似乎表明，科学探索与发现的过程在增加自然知识的同时，也更多地揭示出了科学与人自身的相对关系，肯定了人类在科学发展过程中形成的某些观念。虽然如此，却又同时否定了人类认识自然界终极真理的可能性。

基于以上原因，本书试图通过对人类自然科学发展全貌的描述，勾勒出科学知识积累过程的整个轮廓。全书采用结构分析的方法，针对科学领域中有重要意义的体系进行阐述，力图通过对东西方科学知识发展轨迹的探索，展示包括人类自身的知识世界的演进历史。

我无法一一指出本书各章材料的来源，但是，本书在编译过程中，曾参考了中外专家学者的诸多研究著述和最新文论，并剔除了其中冗赘、繁杂之处。特别应该指出的是陈焕文先生、童圆媛小姐及曾聪小姐，他们所付出的辛勤劳动对本书的编译起了不可低估的作用，在此一并致以深深的谢意。

编著者

2007 年 6 月 20 日

目录 CONTENTS >>>

第二编　中世纪的科学技术

第三编　近代科学的曙光

第一编　科学的源头

文明是从蒙昧中诞生的。

古代文明首先是在中国以及幼发拉底河、底格里斯河、印度河和尼罗河几条大河的流域中诞生出来。正是在这几个大河流域，孕育出了最早的发达文化。人类在这些古老文明的基础上，把自己推向更灿烂辉煌的科技时代。



文明古国的科学萌芽

WENMINGGUGUODEKEXUEMENGYA

中国：

公元前7000年至前6000年，中国仰韶文化期已有陶窑及手制、模制的陶器。

新石器时代晚期，中国为铜、石并用时代，铜器由天然红铜锤锻而成。

约在龙山文化晚期，中国人已会酿酒。

公元前26世纪，中华文明五帝时期。中华文明的直接源头有三个，即传说中中国西部地区的黄河文明（炎帝）、中国东部的长江文明（太皞）和中国北部的草原文明（黄帝）。

1.黄河文明：最早开始农耕生活，发明了原始的木犁、木铲、木锄，并在养蚕、丝织和以草为药方面总结出经验。

2.长江文明：最早发明车，并从制陶中发现冶铜技术。

3.草原文明：最早开始对马的驯养，发明了弓箭。

永恒的书写者　雕塑

坐姿端庄、表情严肃的人物肖像正是对古埃及书写者形象的记载与描绘。图中这尊出自第四王朝（前2620－前2520年）的雕像由石灰岩刻成，绘以色彩，并镶嵌有水晶和木制的眼睛，是书写者的永恒形象，同时也表达出对文明传承者的尊重和景仰。



公元前2550年左右，黄帝创造了一个北方、东方和西方三大部落群融合的场面。原始文字开始统一，数学知识有了初步进步，同时伶伦和荣将发明了黄钟，把中国古代的音乐、天文、长度、面积、体积、重量等单位初步统一为一体。

公元前2280年左右，尧帝令羲仲、羲叔、和仲、和叔分驻四方，以观天象，修制了一年366天的历法，并规定了置闰的方法。

约公元前22世纪，启建立夏朝，按黄钟的长度数字将治区分为九州。夏帝少康继仪狄造酒之后，发明了林酒，这是化学知识增加的结果。夏朝时，确定了以正月为岁首的历法。

公元前2000年，仓颉整理象形文字，以鸟、兽、虫、鱼为偏旁规范生物名称，初具生物分类思想。

公元前2000年左右，中国测定木星绕天一周的周期为12年。

约公元前17世纪，汤灭夏建商。商代，中国古代铜器时代的文明达到顶峰，其标志为青铜武器、青铜酒器及青铜镜等。这一时期，涂青釉的原始瓷器和甲骨文开始出现，用甲骨文表达的十进位制计数法已接近成熟。牛耕被发明，铁器在商代后期逐渐被开发和利用，历法也已发展成为一种初步的阴阳合历，采用的是六十干支记日法。商代的天文学家最先在世界上记录了一颗超新星。

公元前14世纪，中国殷朝甲骨文(河南安阳出土)中已有日食和月食的常规记录，以及世界上最古的日珥记事。

公元前1200年前，中国殷朝已能合理使用金、铜、锡、铅四种金属。青铜冶铸技术已达成熟阶段，并出现镀锡的铜器。

公元前1200年前，中国殷朝已有釉陶。

公元前1200年前，中国已经开始驯养家蚕，利用蚕丝织成丝绢。

人类文明大约始于公元前3500年，首先在黄河、幼发拉底河、底格里斯河、印度河和尼罗河等几条大河流域萌发。从那时起，人类便开始了对自然界的探索，科学思想的萌芽也由此出现。尽管早期文明存在联系的可能，但所有文明并不遵循相同的发展模式，它们的科学当然也无具体的体系或理论可言。



法老和工程师——古埃及

Episode Ⅰ

万神之王——瑞神 雕塑

埃及的神谱中有众多的神灵，埃及人的宇宙观、生死观等都与他们的神灵有关。瑞神是埃及的创造神，信徒认为埃及的一切都是由他的眼泪创造。瑞神长着一颗猎鹰头，头上顶一太阳光环，他在一天中不断变幻样子，黎明时是小孩，中午为青年，傍晚就变成老人，然后死去，第二天则会随着太阳重生。图中音乐家正在为他弹奏乐曲。

埃及是人类最早进入文明的地区之一。

位于非洲东北部的尼罗河流域，大约在公元前3500年出现了以灌溉农业为主的文明——古埃及王国。古埃及人在今第一瀑布到艾斯尤特之间创造了巴达里文化和涅加达文化Ⅰ，从狩猎转向农耕。公元前3500年至公元前3100年，在一支闪米特人的引发下，他们又创造了涅加达文化Ⅱ，建立了奴隶制城邦，发明了象形文字，完成了向文明的过渡，成为人类最早走向文明的地区之一。

文明的延续——古埃及文字 用语言、文字、图画来表示和传播文化，是人类早期文明的一个重要特征。文字，自人类为了记录而创造它之后，逐渐成为人类思考、酝酿理念以及创作的凭借，并成为人类自身存在的一种方式，给各自孕育的科学传统打上了不同的烙印。



古埃及人的房屋

在古埃及，不论是法老的宫殿还是平民的住宅，都是用泥砖砌就，但每个住宅有多少房间，或者是装饰如何，则取决于主人的财富。富有的人家常常用色彩艳丽的壁画或瓷砖来装饰别墅，他们甚至还有沐浴或卫生设备。

古埃及文字系一种象形文字，产生于公元前3100年的古王国时期——与苏美尔人的楔形文字、中国的甲骨文一样，都脱胎于原始社会中最简单的图画。这种图形文字有许多鸟、兽和人物形象，常常被刻画在石板或木板上，并仔细地涂上颜色，描上细带。刻画之后的象形文字，已不仅仅是文字，同时也是一幅幅美妙的彩色图画。

公元前2133年至公元前1786年，从象形文字中发展出一种更容易书写的草书体——"僧侣体"。后来，又出现了另一种字体——"世俗体"。"僧侣体"文字主要为祭司阶层所使用，而"世俗体"文字则是世俗生活中使用的文字。象形文字的书写可以横向，也可以竖向，可以从左到右，也可以从右到左；但"僧侣体"文字和"世俗体"文字的书写无论横向还是竖向，都只能从右到左。在古埃及，这几种文字可以同时使用。

古埃及人将文字刻写在神庙和宫殿的墙壁，以及王宫贵族墓葬的墙上。除石头外，他们最重要的书写工具是纸草的草芯。他们把草芯切割成片，横竖交错平铺放置，接着压制、晒干制成纸。然后对纸张进行抛光，用树胶粘贴成长条——长条依照卷轴的长度切割。古埃及人不仅自己使用纸草，还大量出口纸草至后来的希腊和罗马帝国。在古代希腊，纸草是一种贵重的书写材料，只有在书写



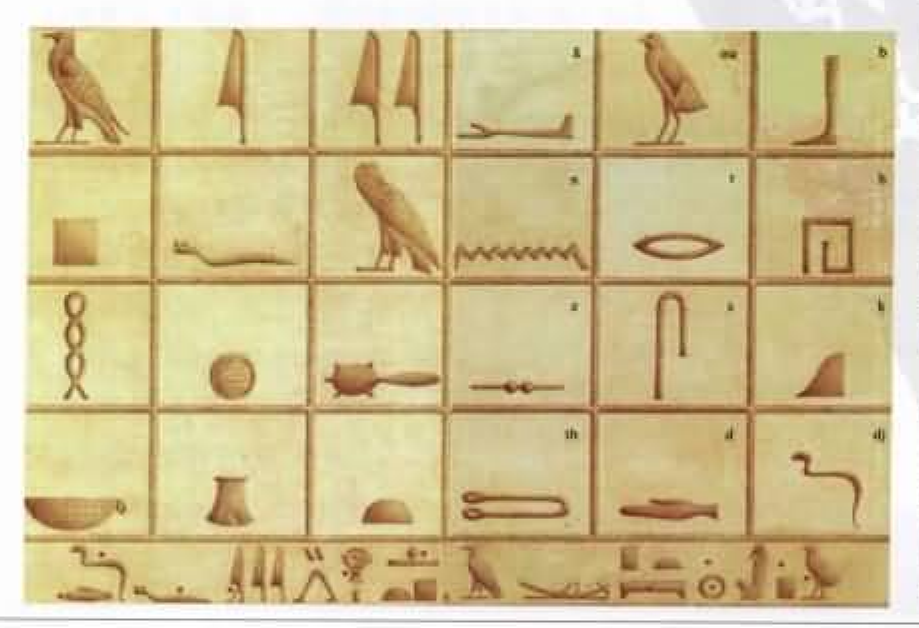


▲ 古埃及象形文字

埃及的象形文字诞生于距今约5000年前，古埃及人是世界上最早使用象形文字的民族。约3400年前，埃及人又在此基础上创造出写得较快而较易使用的字体。

▲ 世界上最古老的木船

这只木船是在胡夫金字塔南侧发掘的，是世界上最古老、保存最完好的木船。古埃及人修建金字塔所用的大石料就是利用船只从尼罗河上运输的。



◀ 埃及文字中的象形符号

在图中的埃及碑文里，记载了1419个象形符号，而希腊文的字是486个。由此，有关专家发现，象形文字并不全是表意文字，也有表音的作用，而且有些符号发音，有些则不发音。







重要的文书时才使用。

复杂的象形文字，导致书写的困难，因此书吏在古代埃及就成了一个专门的职业，有学校对即将担任书吏的学生进行专门的训练。首先，他们必须抄写经典的作品，在有了一定的基础之后，接下来他们要抄写信件、数学运算公式、地名和专有名词。学生们的这种抄写练习，也是许多古代埃及的文献保存下来的一个重要原因。古埃及的书吏拥有某些特权——他们不需交纳赋税。书吏是一个较受尊重的职业，受到人们广泛的赞美。

古埃及文字、有24个单辅音的符号，类似字母。这直接影响了后来腓尼基人的字母文字；而腓尼基人的字母文字，又直接影响了希腊人的字母文字。现在欧洲各国的字母，都是从希腊字母发展而来的。

公元642年，阿拉伯人征服埃及，古埃及文字从此绝迹，古埃及的文字知识也就湮灭了。

1799年8月，拿破仑的士兵发现了制作于公元前196年的罗塞塔石碑，上面镌刻着象形文字、世俗体文字和希腊文，其内容主要是叙述托勒密五世自父亲托勒密四世处袭得的王位之正统性，及托勒密五世所做的许多善行，如减税、在神庙中竖立雕像、对神庙与祭司们大力支持的举动等。罗塞塔石碑独特的三语对照写法，成为解开古埃及文字之谜的关键：三

埃及的教育　雕塑

古埃及的书写者与法老拥有相当的权势，但掌握和学习古埃及象形文字是一件枯燥的苦差事，很多人不能坚持下来。在埃及的教学体系中，有老师先教草书体，待熟练之后才传授正规象形文字。在学生的教育中，他们认为体罚是一种有效手段，现今还有“孩子的耳朵长在脊背上，挨打才会把话听进去”的谚语流行。

古埃及的纺织业　壁画

古埃及的纺织技术已达到了较高水平。在许多埃及出土的文物和遗址壁画中，都反映出埃及纺织业的兴盛。图中的壁画就是一个典型，端坐于正中的埃及妇女正在织布机前从事着纺织，这一场景则被描绘在壁画中，向世人讲述埃及古老的文明。

莱因特纸草　残片

在1858年由英国人亨利·莱因特发现的古埃及纸草中，记载了不少埃及人的数学问题，它表明古埃及人的数学在当时已取得了相当大的成就。

种语言中的古希腊文是现代人可以阅读的，利用其来比对分析碑上其他两种语言文字的内容，就可以了解失传语言的文字与文法结构。

在许多尝试解读罗塞塔石碑的学者中，法国学者商博良于1822年第一个理解到：用形表义的埃及象形文，也具有表音作用。这成为解读所有埃及象形文的关键线索。商博良也由此被公认为是古埃及语言学的奠基人，罗塞塔石碑亦被誉为是“通往古埃及文明的钥匙”。

最早的太阳历——天文学和数学 古埃及的农业生产需要掌握尼罗河水泛滥的确切日期，因而根据天象来确定季节就成了十分重要的工作，天文学知识因此而不断积累和丰富。

古埃及人在公元前2787年创立了人类历史上最早的太阳历。其制定方法是把天狼星和太阳同时在地平线升起的那天（*此时尼罗河开始泛滥*）定为一年之始，一年三季共12个月，



书写工具和文字记录

在古埃及，能够读、写象形文字的人会享有特别的恩宠，并拥有相应的权力。他们理所当然成为老师，传授学生以数量繁多的象形文字书写方法，以及世代相传的文明。图中展示了当时完备的书写工具，其中包括芦苇笔和木盒、纸草、墨水盒以及一把裁纸刀。



罗塞塔石碑

罗塞塔石碑上的三种文字，分别为古埃及象形文字、埃及草文以及古希腊文。其中象形文字又称圣书体，代表的是献给神明的文字；草文是当时埃及平民所使用的文字，而古希腊文是统治者的文字，反映了当时埃及臣服于希腊亚历山大帝国下的一段历史。

阿尼的纸草书

现藏于伦敦大英博物馆的“阿尼的纸草书”是保留最早的埃及《亡灵书》，又译为《死者之书》。《亡灵书》是古代抄录员为亡灵所作的经文，一般镂刻或书写在金字塔或坟墓上。







人类历史上最早的太阳历

早在公元前2787年，埃及人就已经把1年定为365天，并把全年分成12个月，每月为30天，而余下的5天则作为节日之用。虽然古埃及的这种历法并不精确，因为1个天文年是365.25天，因此，古埃及历每隔4年便比天文历落后1天，但在古代文明中，这却是最佳的历法。

每月30天，加上年终5天节日，全年共365天。这个历法每年只有1/4天的差数，是今天世界通用公历的原始基础。

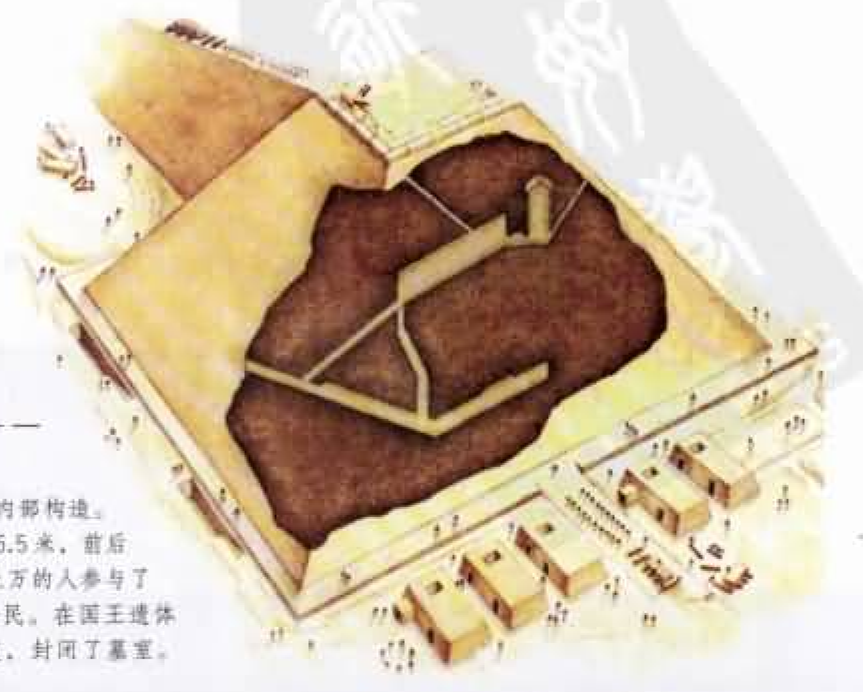
由于尼罗河水每年泛滥之后必须重新丈量和划定土地，年复一年的工作使古埃及人在几何学方面比当时的任何民族都做了更多的实践练习，积累了很多的数学知识。修建水利设施以及建筑神庙和金字塔，使这些数学知识得到应用，并且进一步丰富和发展。古埃及人用的是10进制记数法，但不是十位制。例如：他们写222，不是将2重复3次，而是每一位上都有一个特殊的符号。埃及人能计算矩形、三角形、梯形和圆形的面积，以及正圆柱体、平截头正方锥体的体积。他们所用的圆周率为$\pi = 3.1605$。在代数方面，古埃及人能解一元一次方程和一些较简单的一元二次方程。这些知识后来成为古希腊人发展数学的基础。

木乃伊千年不腐的奥秘——古埃及医药学 古埃及人相信人死后能在另一世界继续生活，因而将死者解剖制成木乃伊；木乃伊的制作需要高深的医学知识和相当的防腐技术，据古希腊历史学家希罗多德记载：古埃及人在制作木乃伊时，先用金属钩把尸



古埃及王室肘尺

图中的王室肘尺是古埃及基本的长度单位工具。一肘尺分成28"指宽"，每指约为1.86厘米。其中，28指又分为四等分，而每一等分又是一"掌宽"，每掌约为7.47厘米。





大金字塔

此图为我们展示了胡夫金字塔的内部构造。该金字塔是世界最大的金字塔，高146.5米，前后共花了20多年时间得以建成。成千上万的人参与了这项伟大工程，其中有奴隶，也有平民。在国王遗体下葬后，他们就把一块巨石推入墓道，封闭了墓室。

体的脑髓从鼻孔中挖出，再用石刀剖开肚子取出内脏，或者将内脏从肛门中拉出来。接着用椰子酒和捣碎的香料冲刷、洗净腹部，然后填充没药、桂皮、乳香等香料，最后把划开的口子缝好，将尸体置于硝石中70日，以待肌肉分解。70日后，工匠们再清洗尸体，用细麻布绷带把尸体从头到脚包起来，外面再涂上树胶。死者的亲属将尸体放入特制的人形木盒，靠墙直放在墓室。

古埃及医生能做外科手术，能治眼疾、牙痛、腹泻、肺病以及妇女的许多疾病。他们用各种植物、动物和矿物配制药物。大约于公元前1600年埃及出现的埃伯斯纸草上，记载有47种疾病的症状以及诊断处方，其中包括内科的诸多疾病；还记载有解剖学、生理学、病理学方面的知识，以及877个药方，这些知识对西方的医药学产生了很大影响。

金字塔——未解之谜 古代埃及在人类历史上最为显著的技术成就就是用石头建造至今犹存的巨大金字塔和神庙。

金字塔是古埃及法老（国王）的陵墓——古埃及的建筑师们用庞大的规模、简洁沉稳的几何形体、明确的对称轴线和纵深的空间布局来体现金字塔的雄伟、庄严、神秘。现存的70多座金字塔中最大的一座为修建于公元前2600年的胡夫金字塔。其塔高146.5米，底

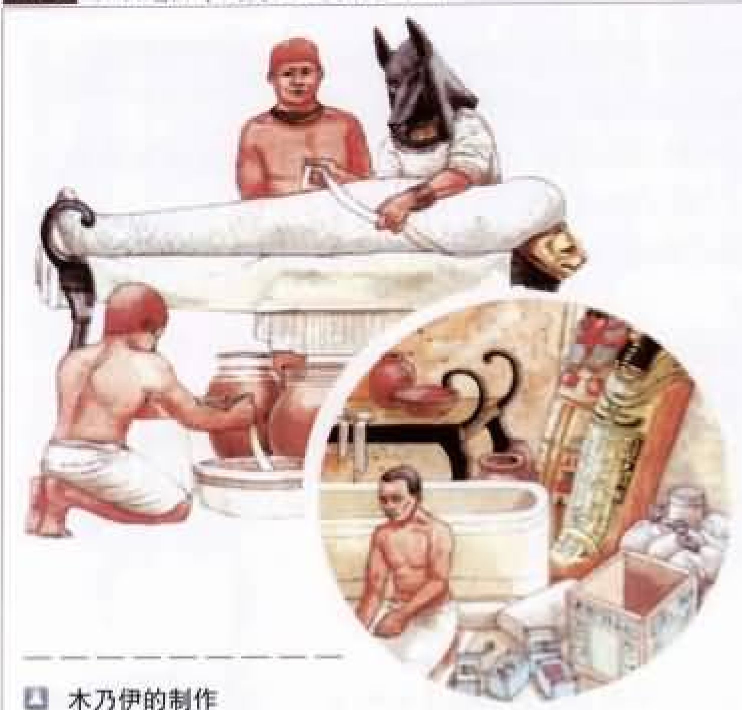
古埃及人的医学著作

成书于公元前1600年左右的古埃及埃伯斯纸草是一部伟大的古代医学巨著。它宽0.3米，长20.23米，共记述了47种疾病的症状和诊断方法，其中涉及到内科、妇科和儿科的多种疾病，所载药方有877个。其丰富性表明当时的埃及医学已基本从巫术中分离出来。



《死者之书》残片

在图中的《死者之书》残片中，象形文字由上至下进行阅读，两个表意明显的圣甲虫符号，代表着说话的意思。由于这节象形文字只是残片，因此还不能完全解读其内容。



木乃伊的制作

木乃伊的制作过程是相当烦琐而精细的。工匠的精湛手艺，最终使木乃伊仍然保持着死者生前的外在形体，而对大量高深医学知识的运用，更让木乃伊有着千年不腐之身。古埃及的这一防腐技术是其发达医学水平的完美表现。

为边长3米的正方形，全部用琢磨过的巨大石块筑成，每块平均重2.5吨，共用巨石约230万块。石块间未用灰泥粘接，但砌缝严密，塔的北面正中央有一个入口，从入口进入地下室的通道和地平线恰好呈30度倾角，并且正对着北极星。胡夫金字塔被誉为"世界七大奇迹之首"。

古埃及人的神庙建筑也非常惊人。现存尼罗河畔卡尔纳克的一座建于公元前14世纪的神庙，它的主殿占地约5 000平方米，矗立着134根巨大的圆形石柱，其中最大的12根直径为3.6米，高约21米。

在三四千年前使用石器和青铜器的条件下，古埃及人竟然修建起了金字塔和神庙这样宏伟的建筑，实在是人类历史上的奇迹。

两河之间——古美索不达米亚

Episode Ⅱ

两河流域，是人类最早步入文明的地区。人类生活的许多内容，如农业、畜牧业、手工业、商业；各种文化要素，如楔形文字、科学技术、学校教育、宗教信仰等，都可以在这里找到源头。

美索不达米亚文明源自苏美尔文明。公元前4500年左右，灌溉农业在美索不达米亚南部地区兴起，不久城市开始出现；大约在公元前3200年，文字诞生，随后苏美尔城邦国家形成。其后的2000多年间，巴比伦人和亚述人先后通过军事征服、经济扩张、文化交流等手段不断发展并传播着美索不达米亚文明。公元前9世纪至公元前6世纪，美索不达米亚文明达到鼎盛。公元前332年，希腊马其顿王亚历山大大帝东征，其后美索不达米亚文明开始进入到希腊化时代。

楔形文字和制作工具

苏美尔人在创造出楔形文字体系之后，还发明了独特的书写技巧。为减少手工书写者的工作量，他们将文字刻写在泥土印章上。这种泥土印章还有圆筒形式，这跟中国的雕版印刷非常相似。在使用圆筒印章时，直接将圆筒放在湿润的泥版上滚动，就会印下文字。



伊什塔尔城门上的雄狮

巴比伦城曾是古巴比伦王国的首都。在长期战乱的洗劫后，到新巴比伦建立时已成为一片废墟。尼布甲尼撒二世即位后，对巴比伦城进行了大规模改建。新建的巴比伦城规模非常宏大，四面都被高大的城墙围绕。城中最著名的伊什塔尔城门，门洞两边的墙上都有黄、棕两色琉璃砖制成的狮子和公牛图案，漂亮异常。



现在的伊拉克、伊朗西部、叙利亚等地区是古代美索不达米亚文明的核心区。中东其他地区与古代美索不达米亚文明自古就有密切接触——在土耳其、埃及等地区还发展出独立的古代文明，它们在政治、经济、文化上与美索不达米亚文明长期交流并相互影响，并对后来的犹太文明、波斯文明、希腊-罗马文明、基督教文明和伊斯兰-阿拉伯文明也产生了深刻影响。

楔形文字——人们用制成三角尖头的芦苇杆、木棒，或者骨头棒当笔，在软泥板上写成的一种文字，是美索不达米亚文明的一种特殊文字；它起源于象形文字。公元前3500年左右，苏美尔人发明了象形文字，后来随着社会生活的发展，象形文字因为很难表达复杂而抽象的概念，于是就逐渐演变成表意文字，随后又出现谐声文字，即用同一个符号表示同声的词。由此，苏美尔的图形符号亦由2000多个简化到500多个。

美索不达米亚平原不生长纸草的原料——"莎草"，于是人们就将文字写在软泥板上，然后晒干、保存。据说当时的官府神庙，都藏有许多泥版文书。现在，我们还能看到3万多块这样的泥版文书。这种泥版文书，后来为巴比伦人、亚述人、波斯人广泛采用，对文化的交流与传播起了重大作用。

对楔形文字的解读直至19世纪70年代才取得重大进展。当时发现的贝西斯敦石崖，同时用波斯文、埃及文和巴比伦文记载了波斯王大流士一世的战功——人们通过波斯文的知

普林顿泥版文书

该泥版文书因收藏者名字而得名，长12.7厘米，宽8.8厘米，是一块泥版文书的右半部分，其左半部分在出土后不幸丢失。泥版上文字属巴比伦语，由此可推断其制作年代不会晚于公元前1600年。1954年，泥版上文字的意义被破译，它们揭示了数论意义，即与所谓"勾股数"或"毕达哥拉斯"有关，从而引起人们的极大关注。



最早的字母文字

乌加里特城邦的腓尼基人发明了世界最早的字母文字，而这些字母的发明却有一个有趣的传说。相传，当时有个腓尼基木匠干活时忘带工具，于是他在一块木块上随手画了些符号，其妻在看到这些符号后立即明白了他的要求。据说，这些符号就是第一次出现的字母文字的雏形。



波斯国的金属板

楔形文字除了被书写在纸草纸和泥板上以外，还被人们刻在银板上。图中就是波斯国王大流士一世时期的银板。上面刻有的铭文具有晚期楔形文字的典型特征。同时，这些文字也反映出了楔形文字的超强适应性。在这块银板上，文字同时用来书写巴比伦语（中间部分）、埃及语（右边部分）和古波斯语（左边部分）。





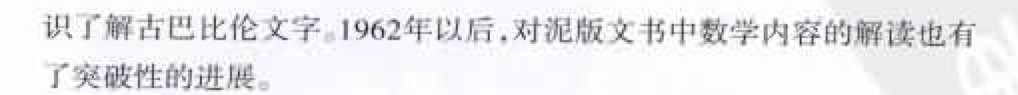
宗教中心尼普尔城市复原图

苏美尔的每个城市都有自己的神，每个城市的中心建筑都是该城市保护神和保护女神的神庙。尼普尔城建于苏美尔—阿卡德时代，公元前3世纪开始衰落，公元12世纪时被彻底遗弃，它是苏美尔主神恩利尔神庙所在地。它的遗址经过10年的发掘，出土6万多块楔形文字泥版，其年代是从公元前2500年左右到公元前100年左右，为研究苏美尔文明提供了资料。



古巴比伦的祭司　雕塑

在天文学方面，古巴比伦人继承和发展了苏美尔人的成就，并使之更加完善。当时的人们已经能区分恒星和五大行星，并能观测出黄道，以后又区分出黄道上的12个星座，绘制出黄道12宫的图形。在主持天文研究的人员问题上，古巴比伦也和苏美尔人一样，由祭司来主持和完成对天文与历法的研究。图中是古巴比伦祭司雕像。



识了解古巴比伦文字。1962年以后，对泥版文书中数学内容的解读也有了突破性的进展。

天堂之城——巴比伦城与空中花园　公元前7世纪，新巴比伦王国国王尼布甲尼撒二世即位，他郑重发誓："庄严华美的巴比伦，我视你一如我的生命，我愿尽我的力量，使你成为空前绝后、无比繁华、无比昌盛的大城。你将接受万国的进贡和全人类的膜拜。"

尼布甲尼撒二世（前605—前562年）是古代西亚新巴比伦王国最著名的国王。他在位期间，攻占了耶路撒冷，将犹太的国王、贵族及一般居民掳至巴比伦尼亚，史称"巴比





世界上最早的史诗《吉尔伽美什》

《吉尔伽美什》史诗，是西亚两河流域上古人民创造的一部优秀文学作品，全诗约3000多行，由12块楔形文字泥版组成，它是在亚述巴尼拔图书馆发掘出的。



亚述巴尼拔　雕塑

亚述巴尼拔是新亚述帝国末期的一位杰出国王，他在位时尊崇文化，热爱收集图书，建立了世界上最早的私人图书馆——亚述巴尼拔图书馆，比埃及著名的亚历山大图书馆早400年。

伦之囚”。但尼布甲尼撒二世更为后世所乐道的是他建立了一个令全世界的朝拜者匍匐在脚下的新巴比伦。新巴比伦是一座占地达2 100英亩的大城：方形，周长22.2公里，有内外城墙环绕；城墙上有360座塔楼；内墙外还有宽约20米到80米的护城河蜿蜒其周。幼发拉底河从城墙下穿城而过。全城有100扇用铜做成的城门，为世界城门之最，每个城门的门框和横梁都由青铜铸成，城墙和塔楼上都镶嵌着精美的浮雕。

高大的城墙后面就是被誉为古代世界七大奇观之一的“巴比伦空中花园”——尼布甲尼撒王献给妻子米底公主米梯斯的礼物。米梯斯日夜思念家乡的山峦叠翠，尼布甲尼撒就下令按照米底山区的景色，在他的宫殿里建造了层层叠叠的阶梯型花园，栽满了奇花异草。工匠们还在花园中央修建了一座城楼，矗立在空中。由于花园远高于宫墙，远远看上去仿佛悬挂在空中，由此而被称为“空中花园”。公元2世纪，

空中花园复原图

尼布甲尼撒二世不仅重建了巴比伦城，他还下令建造了神奇的巴比伦空中花园，这一伟大的工程被后世誉为“世界古代七大奇迹”之一。空中花园就像一座大山，整体呈正方形，每边长120多米，高25米，共7层，用石柱和石板一层一层向上堆砌而成，直到半空。为防渗水，工人在每层都铺上浸透着柏油的柳条垫，上面再铺两层砖头，还浇铸一层铅，最后铺上肥沃泥土，种上奇花异草。



希腊学者把“空中花园”列为“世界七大奇观”之一。

还有一个与“空中花园”齐名的——巴别通天塔。此塔来源于《圣经·旧约》：居住在两河流域的人修建了一座城后，还想造一座可以通到天堂去的高塔，这激怒了上帝，上帝深为人类的虚荣和傲慢而震怒，就决定让人类的语言互不相通，这样人类因无法沟通从而不能建塔。事实上，通天

世界最早的地图

在苏美尔的城邦国之一的尼普尔，人们用泥版进行书写。在1884年发掘出的尼普尔古城遗址中，人们共发现了6万块楔形文字泥版，其年代从公元前2500年左右一直到公元前100年左右，前后超过2000年。其中一些泥版上，人们还发现了可能是世界上最早的地图。

苏美尔人、乌加里特人和腓尼基人的字母对照表

苏美尔人发明的楔形文字是人类文明史上的一大进步，但其书写过于烦琐。乌加里特城邦的腓尼基人就在这一基础上，发明了30个辅音字母表示的文字，后来又简化到22个。这些字母文字后又为古希腊人所改造，成为希腊字母的雏形。可以说，腓尼基字母是欧洲国家字母文字的始祖。

苏美尔人		乌加里特人		腓尼基人	
	a		'a		'
	bi		b		b
	gi		g		g
	ḫa		ḫ		
	da		d		d
	ḫe		h		h
	wa		w		w
	za		z		z
	ḫa		ḥ		ḥ
	ṭí		ṭ		ṭ
	ya		y		y
	ka		k		k
	ṭí		ṯ		
	lu		l		l
	ma		m		m

苏美尔人		乌加里特人		腓尼基人	
	šu		ḏ		
	na		n		n
	ṣu		ẓ		
	ša		s		s
	ḫa		'		'
	pa		p		p
	ṣa		ṣ		ṣ
	qa		q		q
	ra		r		r
	ša		š		š
	ga		ǵ		
	ti		t		t
	e		'i,'e		
	u		'u,'o		
	se		ŝ		

纸草“纸”的制作过程

古埃及人曾把文字刻在石板上，但渐渐的人们开始使用纸草纸来代替石板。这种“纸”是用一种与芦苇相似的植物——纸草制成的，它本身的特性非常易于进行书写。图中是古埃及人制作纸草“纸”的过程。它与埃及纸莎草记载功能一样，为后世留下了宝贵的史料。



①采集纸草



②将纸草秆劈成尽可能薄的长条，分两层铺到硬板上。



③进行挤压和捶打，使两层长条粘在一起。

④将一张张“纸”片粘贴成长幅。

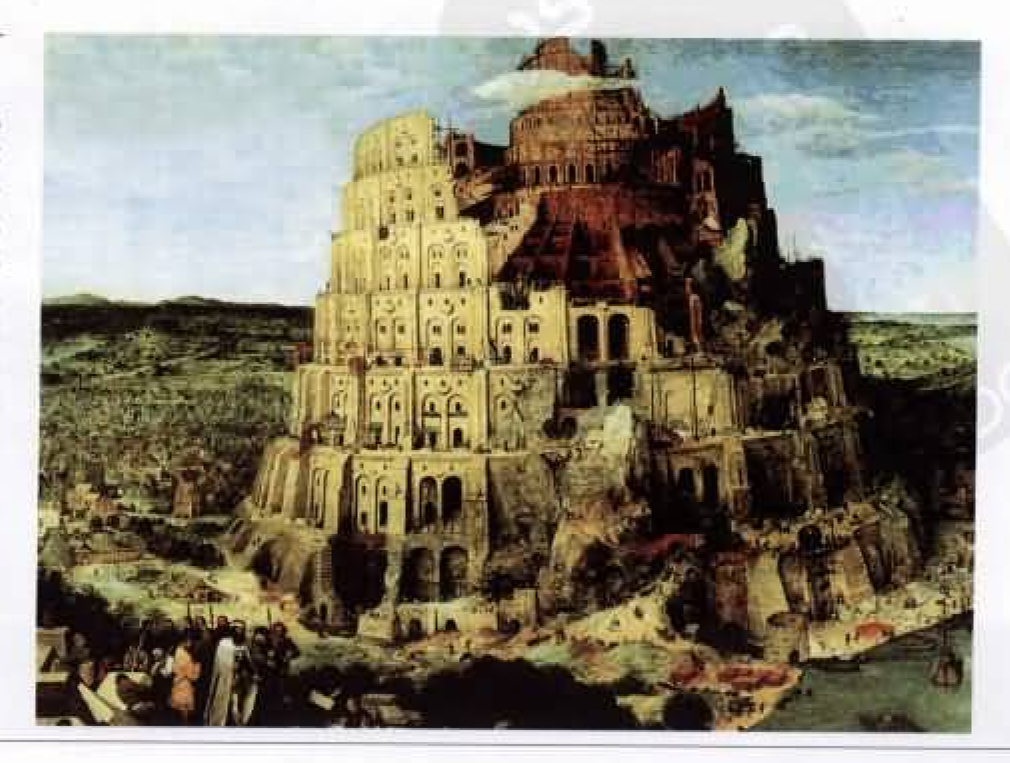
塔早在尼布甲尼撒及其父亲之前就已存在，古巴比伦王国的几位国王都曾进行过整修工作。尼布甲尼撒之父那波博来萨建立了新巴比伦王国后，也开始重建巴别通天塔，他在铭文中写道："巴比伦塔年久失修，因此马尔杜克命我重建。他要我把塔基牢固地建在地界的胸膛上，而尖顶要直插云霄。"但那波博来萨只将塔建到15米高，尼布甲尼撒自己则"加高塔身，与天齐肩"。通天塔的规模十分宏大，建在许多层巨大的高台上，这些高台共有8层，愈高愈小，最上面的高台上建有马尔杜克神庙。墙的外沿建有螺旋形的阶梯，可以绕塔而上，直达塔顶。通天塔的塔基每边长大约90米，塔高约90米，人们称它是天上诸神前往凡间途中的踏脚处，是天路的"驿站"。

美索不达米亚缺乏岩石，但拥有丰富的沥青和高超的烧砖技术，工匠们用砖和沥青建造了当时世界上最富丽堂皇的城市。

占星术中的宇宙观——天文与数学 所有的农业文明都拥有自己的基于天文观测的历法，精确历法对于农业社会的用途和必要性不言而喻。

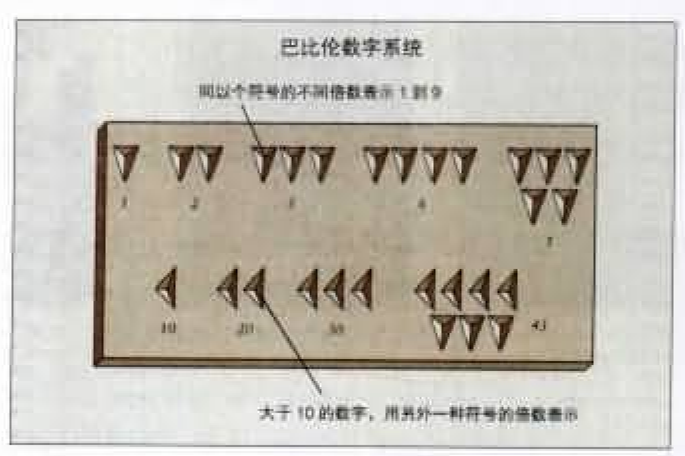
阿卡德人的泥版印章

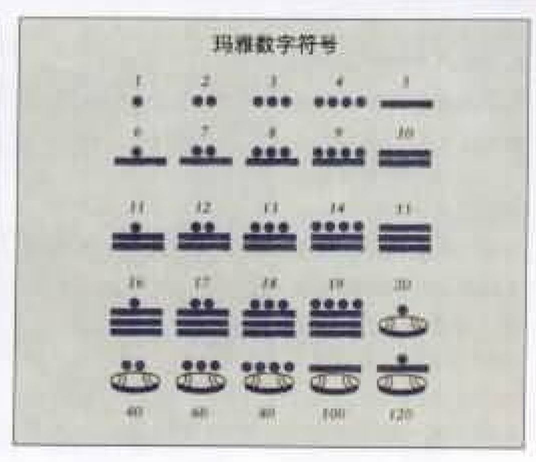
阿卡德人是生活在美索不达米亚平原北部地区的民族。在苏美尔文明逐渐衰落时，阿卡德人则开始强盛起来。大约公元前2371年，萨尔贡一世建立了阿卡德王国，在不断地对外扩张后，最终完成了美索不达米亚地区的统一。图中是阿卡德人制造的泥版印章。



巴别通天塔

"巴别"在巴比伦语中表示"神的大门"。巴比伦城最早修建的巴别通天塔，于公元前689年，在亚述国王辛赫那里布攻占巴比伦时被破坏了。新巴比伦王国建立后，尼布甲尼撒二世下令重建通天塔。新建的塔共高7层，总高90米，而塔基的长度和宽度则达到91米左右。遗憾的是，巴别通天塔如今只剩下了方形地基。





公元前2000年，美索不达米亚人就发现了金星运动的周期性，并有了黄道的概念，即太阳在恒星背景下所走的路径。并将黄道带划分为12个星座，每个星座对应不同的月份。星座都根据神话中的神或动物命名，并有一个特殊的符号表示，这就是沿用至今的黄道十二宫。他们还编制了日月运行表，从表中可以查出太阳月运行度数、昼夜长度、月行速度、朔望月长度、连续合朔日期、黄道对地平的交角、月亮的纬度等。

美索不达米亚还有一种非常精确的历法，从公元前1000年一直使用到公元前300年。美索不达米亚的历算家们早就靠数学计算编制出了好几百年后都有效的抽象历法：一年有12个太阴月即354天的历法，每隔一段时间就要额外插入一个太阴月（即设置闰月），以使太阳月（决定季节的）与太阳年协调一致。

古代两河流域的人是具有高度计算技巧的计算家，其记数法是10进制与60进制并用。人们编制了许多数表以方便计算，有乘法表、倒数表、平方表、平方根表、立方表、立方根表等。他们能解一元一次方程、多元一次方程，也能解一些一元二次方程，甚至若干较为特殊的三次方程、四次方程和指数方程。在几何学方面，古代两河流域人突出的贡献是按60进制把周角分为360°，1°分为60′，1′分为60″，这种方法一直沿用至今。希腊人、欧洲人直到16世纪才将这一系统运用于数学计算和天文学计算中，至今60进制仍被应用于角度、时间等记录上。在公元前1900年至公元前1600年间的一块泥板上（普林顿322号），记录了一个数表，经研究发现其中有两组

巴比伦数字系统

古巴比伦的计数符号是刻在泥片上的，在他们的记数系统中，所有的数字只用两种符号表示——一种表示个位数，一种表示十位数。对于大于10的数字，则用表示十位数的符号的倍数表示。

玛雅数字符号

早期文明中，大部分数字系统的使用基数为10，而公元1000年左右，居住在南美的玛雅人却创立了基数为20的符号系统。图中是玛雅的数字符号表示。与玛雅的数字系统不同，两河流域用10进制和60进制的基数方法。

数，分别是边长为整数的直角三角形斜边边长和一个直角边边长，由此推出另一个直角边边长，亦即得出不定方程$X^2+Y^2=Z^2$的整数解。美索不达米亚的几何学与实际测量有密切的联系。他们已有相似三角形之对应边成比例的知识，会计算简单平面图形的面积和简单立方体的体积。

把圆周分为360等分，也应归功于美索不达米亚。美索不达米亚几何学的主要特征更在于它的代数性质。例如，涉及平行于直角三角形一条边的横截线问题引出了二次方程，讨论棱椎的平头截体的体积时出现了三次方程。

医学和生物学 古代两河流域留存下来的关于医学的泥版书有800多块，反映出当时的医生用药物和按摩等许多方法治病，所用植物药已有150多种；还把一些动物的油脂制成的药膏用于治疗。记录下医生所治的疾病有咳嗽、胃病、黄疸、中风、眼疾等。

在一些泥版书上，古代两河流域人记录了100种动物和250种植物的名称，并且对动物作了世界上最早的分类。古代两河流域人还会在枣椰树开花时进行人工授粉，以增加椰枣的产量。



太阳神与汉谟拉比 浮雕

《汉谟拉比法典》主要是为维护奴隶主的统治而制定，其内容对奴隶主、自由民和奴隶有着不同的规定。在刻有《汉谟拉比法典》的石柱上，上半部分是幅精美的浮雕。浮雕中，古巴比伦所崇拜的太阳神正将权杖授予国王汉谟拉比，这是以体现汉谟拉比在当时的崇高形象。

南美印加部落的结绳计数

当对数的认识逐渐变得明确时，人们感到有必要以一定方式来表达事物的这一属性。因此，人们开始创造出各种计数方法，而这些方法也是伴随着数学的发展而发展的。与古巴比伦人用公式来计数一样，古代南美印加部落也发明了自己的计数方法——结绳计数。人们在细绳上打下各种不同的结，这些颜色、位置、大小不同的结，表示了不同的事物和数目。



巴比伦马尔杜克神庙模型

公元前605年，在臣民的拥护下，尼布甲尼撒成为新巴比伦的国王。在他的统治下，新巴比伦的奴隶制经济有了较大发展，奴隶服务于经济生活的各个领域，包括农业、手工业和商业。"巴别通天塔"和"空中花园"就是这一时期出现的历史奇迹。图中是尼布甲尼撒二世统治时期修建的马尔杜克神庙模型。

月临大地——古印度

Episode Ⅲ

旧石器时代，原始人类已开始在印度生活。公元前3500年之后，农业文明遍布印度河平原。公元前2500年前后，印度河流域出现高度发达的城市文明，先民们开始使用文字。公元前1500年左右，吠陀时代开始。印度文明的中心渐次由西向东推进到恒河流域。其后数百年间《梨俱吠陀》和其他吠陀经典问世，成为印度文学和哲学的源头。吠陀文明为后来印度教的发展和印度文明的腾飞奠定了基础。公元前6世纪，各种哲学流派和社会学说并起纷呈，佛教和耆那教应运而生。公元前3世纪，孔雀王朝在阿育王时代成为印度历史上第一个大一统的专制帝国。公元3至6世纪的笈多王朝时期，是印度古代文明发展的黄金时代，科学、文学、艺术等许多领域均取得了非凡的成就。婆罗门教在这一时期经过改革演化为印度教。

印度古代文明最显著的特色是其宗教性。历史上，宗教一直是人们精神生活的中心。印度教在建筑和雕刻方

公元前2500年的彩陶

古印度是指整个印度次大陆，也叫南亚大陆地区，它包括今天的印度、巴基斯坦、孟加拉国、尼泊尔、锡金、不丹和斯里兰卡等国。印度次大陆位于亚洲大陆南部，呈一个巨大的倒三角形。在历史的进程中，印度人民用自己的勤劳和智慧创造了独特而辉煌的印度文明，并在文学、哲学和自然科学方面对人类文明做出了开创性贡献。图是古印度时期制作的彩陶。



史诗《罗摩衍那》插画

在古印度文学中，最古老的史诗为《摩诃婆罗多》和《罗摩衍那》。两部史书成书于公元前400年左右，叙述的却是公元前1400年到公元前1000年左右印度发生的事情。《摩诃婆罗多》主要记叙各种传奇故事，阐述了达摩指导武士，国王或想加入轮回转世的人如何行为的道德规范；《罗摩衍那》则讲述了毗湿奴化身为罗摩一生的故事。此图描绘的是《罗摩衍那》的情节，在史诗中罗摩是高尚道德的武士，他恪守着贵族的荣誉准则。







面，佛教在建筑、雕刻和绘画方面，伊斯兰教在建筑和绘画方面，都分别创造了众多传世艺术珍品——它们构成了印度文明的三大板块。

阿拉伯计数法——古印度人的贡献 目前，世界各国各地区都广泛采用了十进位值制的统一计数系统，其计数符号1，2，3，…9，0，我们称作阿拉伯数字，这项发明应归功于印度人。

印度大约在公元前3世纪才开始使用计数符号，以后逐渐形成了十进制计数系统，但直到公元6世纪才采用位值制——这可能是受到了中国的影响。

虽然说印度的十进位值制可能是受中国的影响，但他们创造了十个互相独立的符号，这是完善的十进位值制必不可少的重要内容，特别是零符号的发明。此前很长一个时期内，没有人把零看成是数，所以不会专门给它确定一个符号；但是没有零的符号，计数系统就存在缺陷。至于这个数的符号如何写，那并不重要，只要它不会引起混乱，同时又容易写就行了，当然最好是一笔画。这一点，印度人基本上做到了。

8世纪以后，印度的计数法传入阿拉伯国家，欧洲



美术与工艺

印度河谷的妇女喜爱佩戴华丽的首饰，如项链、手镯、耳环等，这些首饰都是用黄金、贝壳、银和红玉髓等宝石制成，品质极佳，且多半是红色，常配以黑色的几何图形或花形图案，色泽鲜艳，造型别致。此图就体现了印度妇女佩戴这类首饰的动人姿态。



王子悉达多的诞生

悉达多是佛教的创始人。他出生在公元前565年，是迦毗罗卫国的王子。他生活富足，吃喝不愁，但在接触到底层人民的困苦生活后，他对命运所赋予人的苦难和生死产生了深刻的思考。为搞清楚命运和人类的本质关系，在29岁那年，王子悉达多离开深爱的妻子和孩子，与其忠实的仆人一起云游四方，开始了寻求人生解脱的漫长旅程。下图为公元前565年，摩耶王后在无忧树下生下王子悉达多的场景。

人从阿拉伯人那里学会了十进位值制和相应的数码——因欧洲人是从阿拉伯人那里见到这些数码的，所以他们称其为“阿拉伯数码”。在长达1000年左右的传播过程中，数码的写法有了很大的变化，以致最后演变成现在的形式。

十进位制与计数法的产生为数学奠定了基础，而十进位制与阿拉伯数字计数法由于简便、科学为世界所通用。它们既是人类智慧的结晶，又是数学文明的开始。



佛陀像 陈用志 绢画 宋代

佛陀出自印度佛教，在传入中国后，他在信仰者心中的地位与孔子同样崇高。图中，被中国化的释迦牟尼拄着拐杖，此时的他已顿悟到人的最高境界不是苦行，也不是奢侈，而是平易和中庸。其背景图上的兰花，实际上是儒家思想和君子情操的象征。

七重天的世界——古印度天文学 由于农业生产的需要，印度很早就创立了自己的阴阳历，在《梨俱吠陀》中有13月的记载。《鹧鸪氏梵书》将一年分为春、热、雨、秋、寒、冬六季；还有一种分法是将一年分为冬、夏、雨三季。《爱达罗氏梵书》记载：一年为360日，12个月，每月30日。但实际上，月亮运行一周不足30日，所以有的月份实际不足30日，印度人称为消失一个日期，大约一年要消失5个日期，但习惯上仍称一年360日。印度古代还有其他多种日历制度，彼此很不一致。在印度历法中还有望终月和朔终月的区别：望终月是从月圆到下一次月圆为一个月；朔终月以日月合朔到下一个合朔为一个月。两种历法并存，但前者更为流行。

古代有趣的计数方法

关于数字的计算在世界各地很早就已出现，而数手指大概是古代世界各地最早最通用的计数方法。随着生产力的发展，人们逐渐学着用排列相同的刻划符号的方法来表示数目较大的数字，这种方法对于当时也许是数学上的一大进步。但随数字增大计数活动越来越烦琐，后来印度人和阿拉伯人，发明了用0—9相同的符号置于不同的位置，来表示更大的数字的方法。图中为古代的几种计数方法。









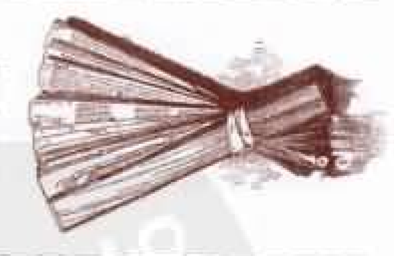
印度月份的名称以月圆时所在的星宿来命名。对于年的长度则用观察恒星的偕日出来决定。《吠陀支节录——天文篇》已发明用谐调周期来调整年、月、日的关系。一个周期为5年，1830日，62个朔望月。一个周期内置两个闰月。一朔望月为29.516日，一年为366日。公元1世纪以前便一直使用这种粗疏的历法。

为了研究太阳、月亮的运动，印度有二十七宿的划分方法。它是将黄道分成二十七等分，称为“纳沙特拉”，意为“月站”。二十七宿的全部名称最早出现在《鹧鸪氏梵书》中。当时以昴宿为第一宿。在史诗《摩诃婆罗多》里以牛郎星为第一宿。后来又改以白羊座β星为第一宿。这个体系一直沿用到晚近。

印度二十七宿的划分方法是等分的，但各宿的起点并不正好有

古印度数学手稿

印度数学有文字可考的最早记载是在吠陀时期，其整个时间跨度从公元前10世纪到公元前3世纪，但资料十分零散。在这些文字记录中，最具代表性的是婆罗门教的圣书《吠陀》经，它保存着大量反映当时社会生活的资料，而许多印度数学的早期记载也在其中。在《吠陀》经中，也有关于设计和测量庙宇、祭坛的内容，还包括一些实用性的几何内容和代数计算问题，这部分内容即印度的《绳法经》。图中是1881年考古发现的古印度数学手稿，它所记载的数学内容涉及到分数、平方根、数列、收支和利润计算、比例算法以及代数方程等，被人们称为“巴克沙利手稿”。

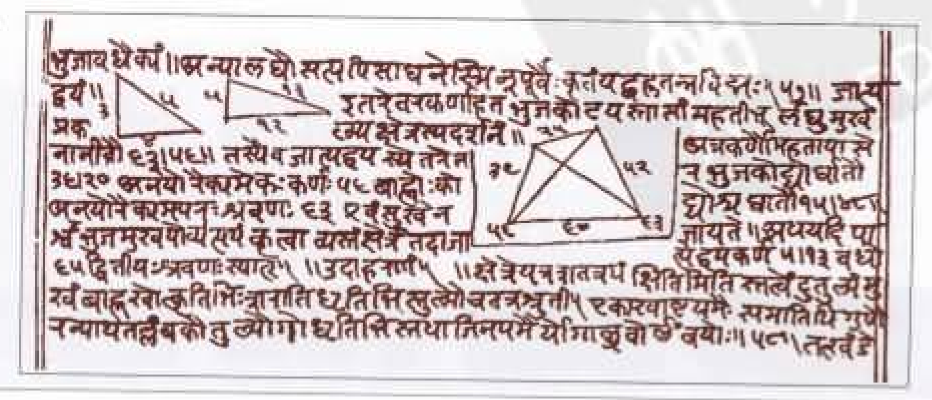


《莉拉沃蒂》的棕榈叶抄本

婆什迦罗是古印度中世纪印度最伟大的数学家和天文学家。他长期在乌贾因负责天文台工作，其所著的两本著作《莉拉沃蒂》和《算法本源》代表了古印度数学的最高水平。图中是《莉拉沃蒂》的棕榈叶抄本。

《莉拉沃蒂》手抄本片断

古印度数学家婆什迦罗所著的《莉拉沃蒂》共分13章。该书在给出算学中的名词术语后，讨论了关于整数、分数的四则运算和开方之法，以及各种计算法则和技巧、利率计算、数列计算、平面与立体图形的度量计算、测量问题、代数问题、组合学问题等。关于其书名，还有一个美丽的传说。婆什迦罗的女儿莉拉沃蒂被占星家预言终身不能结婚。在证实了这一预言后，为安慰女儿，婆什迦罗以女儿的名字为自己的数学著作命名，以使其流芳百世。



较亮的星，于是他们就选择该宿范围内最高的一颗星作为联络星，每个宿都以联络星星名命名。印度也有二十八宿的划分方法，增加的一宿位于人马座α和天鹰座α间，名为“阿皮季德”，梵文意为“麦粒”宿。

印度上古文献全无年代的记载，要确切断代比较困难，因而人们往往借助于天象资料研究历史年代。有人将吠陀定在公元前2500年左右，将梵书定在公元前12世纪，将《吠陀支节录——天文篇》定在梵书之后。但也有人把它们推迟到公元前5世纪前后。

在一个相当长的时期内，佛教在印度传播很广，佛经中表述的传统宇宙观念，与中国古代的盖天说较为接近。须弥山为天地的正中央。日月环绕须弥山运动而不入地下，日绕行一周为一昼夜。

此后，印度天文学基本上没有得到发展。笈多王朝时期（3—6世纪），佛教衰落，印度教兴起，希腊天文学传入印度，印度天文学开始蓬勃发展，出现了印度著名的天文学家阿耶波多。他的主要天文著作是《阿耶波提亚》。该书中也有类似中国古代计算上元纪年的方法。阿耶波多计算了日月五星以及黄白道的升交点和降交点的运动，讨论了日月五星的最迟点及其迟速运动，并有推算日月食的方法。



商代甲骨文的十进乘法累数制计数

公元前500年左右，人类关于书写计数的方法已相当完善，出现了希腊的阿提卡数字和中国的筹算数码。其中，中国的筹算数码首创十进位制计数法，这对人类文明是一特殊的贡献。这种计数系统的出现，使数与数之间的书写运算成为可能，在此基础上，初等算术便在古老的文明地区发展起来。图为河南安阳出土的甲骨文。其中，已有了关于十进乘法累数制计数的记载。

瓜廖尔石碑 拓片

印度数码中表示零的点号后来逐渐演变为了圆圈，也就是我们现在用的“0”。这一演变过程完成于公元9世纪。在公元876年的瓜廖尔石碑上，表示零的数字“0”被清晰地刻画出来。在数学上，零的意义是多方面的，它既表示无的概念，又表示着位值记数中的空位，且作为数域中的基本元素，可与其他数一起进行运算，这可以说是数学史上的一大发明。



阿耶波多以后，出现了天文学家伐罗诃密希罗，他的主要著作《五大历数全书汇编》，几乎汇集了当时印度天文学的全部精华，全面介绍了在他以前的各种历法。编入书中的五种历法以《苏利亚历数书》最为著名。书中引进了一些新的概念，如太阳、月球的地平视差、远日点的移动、本轮等，并且介绍了太阳、月球和地球的直径推算方法。该书成为印度历法的范本，一直沿用至近代。

不过伐罗诃密希罗时代的《苏利亚历数书》的数据尚不精密，后世曾不断进行修改补充——现存的《苏利亚历数书》中的数据大约是公元12世纪修订的。此外，当时的印度历法大都是使用恒星年而不是回归年，这个特点一直保持到近代。

中国唐朝的《开元占经》中译载有天竺《九执历》，它是公元7世纪前后较为先进的印度历法。日月五星加罗睺和计都，合称九曜——九执的名称来源于此。罗睺和计都是印度天文学家假想的两个看不见的天体，实指黄、白道相交的升交点和降交点。《九执历》有推算日月运行和交食预报等方法，历元起自春分朔日夜半。

《九执历》将周天分为360度，1度分为60分，又将一昼夜分为60刻，每刻60分。它用19年七闰法，定恒星年为365.276 2日，朔望月为29.530 583日。《九执历》用本轮均轮系统推算日月的不

《罗摩衍那》的故事浮雕

“罗摩衍那”的意思是罗摩的漫行。全诗共分7篇，约24 000颂，其主要内容是叙述英雄罗摩一生的伟大事迹，并反映了雅利安人越过温德亚山脉向南扩张的全过程。这部史诗虽篇幅较小，但结构严谨，情节曲折生动，与《摩诃婆罗多》同为印度文学和世界文学宝库中的璀璨明珠。



均匀运动，计算时使用三角函数的方法。《九执历》的远日点定在夏至点前10度。公元12世纪，印度出现了天文学家帕斯卡尔，他的重要天文著作《历数精粹》对印度天文学的发展影响很大。帕斯卡尔提出了自己的宇宙理论：地球居于宇宙之中，靠自力固定于空中；地球上有七重气，分别推动月球、太阳和星体运动。他还提出天体视直径的变化是由于它们到地球的距离发生变化造成的，并且认识到地球具有引力。



印度历

印度历最初是太阳历。自4世纪以来，因星相学的需要而作了改进，目前已成为了阴阳历。它把历年分为6个季节和12个月，每个月与太阳走过黄道十二宫之一的时间相符，而历年又以随太阳进入白羊座的时间作为开始。图中是印度历的一种表述形式。



做生意的商人　壁画

与《罗摩衍那》相当的古印度史诗《摩诃婆罗多》，是古印度诗人的集体创作。它在公元前5世纪就基本形成大致轮廓，到公元4世纪才完成定稿。该书全篇共18篇，长达10万颂，其中每颂两行，约等于《荷马史诗》的8倍，是印度篇幅最长的叙事性史诗。壁画描绘的是史诗所记载的时代，社会中一些商人的形象。

印度天文学在历法计算和宇宙理论上自具特色；但不重视对天体的实际观测，因而忽视天文仪器的使用和制造，在一个很长的时期内仅有平板日晷和圭表等简单仪器。直到18世纪才由贾伊·辛格二世在德里等地建立了天文台，置有十几件巨型灰石或金属结构的天文仪器。

古印度医药学及化学　古印度医药学和化学成就不像数学和天文学那样大。年代最早的印度医学著作约诞生于公元前4世纪，这些著作举出了一些药物的名称及其用法；后来2世纪集印度医道大成的《罗迦》和5世纪的论外科学著作《苏色卢多》对此也常提及。印度医学著作可能受到古希腊医药学的影响，《罗迦》中的三段论法就是从亚里士多德那里来的。《罗迦》中还区分人身上的三种活力：第一种是由脐下气所产生的作用所致；第二种是由控制脐和心之间的部位的胆汁作用所致；第三种是心部以上的黏液所产生的作用所致。这三种活力是人身上七种基本素质——乳糜、血液、肌肉、脂肪、骨骼、骨髓、精液——的





古代消化系统解剖图

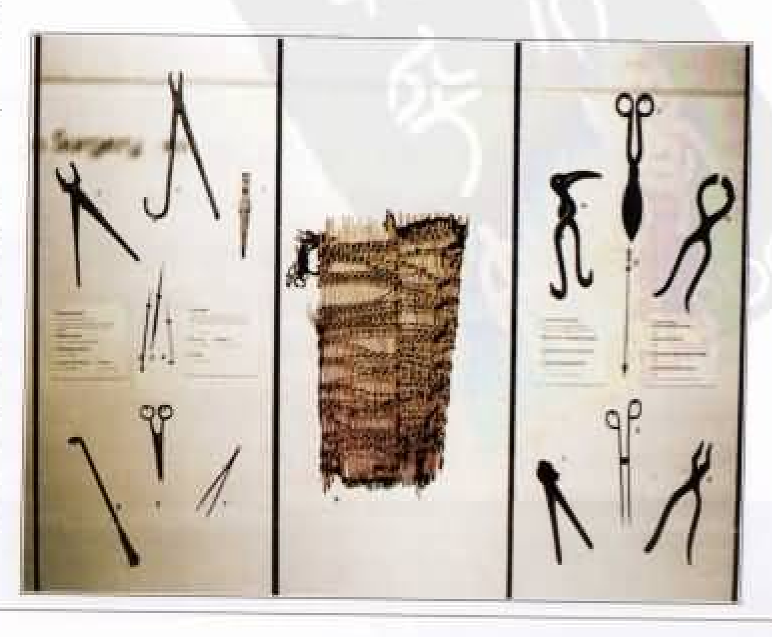
医生往往通过近距离观察来给不同的疾病分类，并且区分不同的症状。为了把麻疹和天花区分开来，医生要近距离与病人接触，并一直保留着详细的病历，还要在自己身上做各种药物试验。之后，解剖学、生理学、外科学和治疗学开始发展起来，这为人们找到疾病的内因提供更充实的证据。这张古代解剖学提供的消化系统的解剖图，其准确性已接近现代医学。

来源。七种素质数量调和，则人体健康；否则就有病患。

外科学著作《苏色卢多》描述了约121种外科用具，以及近代以前几乎所有的常用手术方法。它注意到蚊虫和疟疾的关系，并谈到糖尿病人的小便是甜的，此外还论及金、银、铜、铁、锡的作用。一部后期的医学著作——7世纪的《伐格跋多》一书中，第一次提到了水银。

根据到过印度的中国僧侣的记载：炼金术和炼丹术7世纪才在印度出现。印度炼金术和炼丹术的兴起与婆罗门教在印度的复兴有关系，因为印度炼金术和炼丹术的主要著作都是一些秘密经咒。它们的根据是《吠陀》经典，目的在于反对佛教，传播婆罗门教。印度的炼金师们已知道有烈性的硫酸——8世纪时所著的一本炼金术书中，就提到有一种能"腐蚀"金属的液体；还有一本年代定为12世纪的秘密经咒的书，其中就谈到如何从绿矾中配制这样的液体。此外，约在公元780年中国唐代诗人段成式在其所著的《酉阳杂俎》中也说道："婆罗门国有药名'畔茶佉'水，出大山中石臼内……能消草、木、金、铁；人手入，则消烂。"

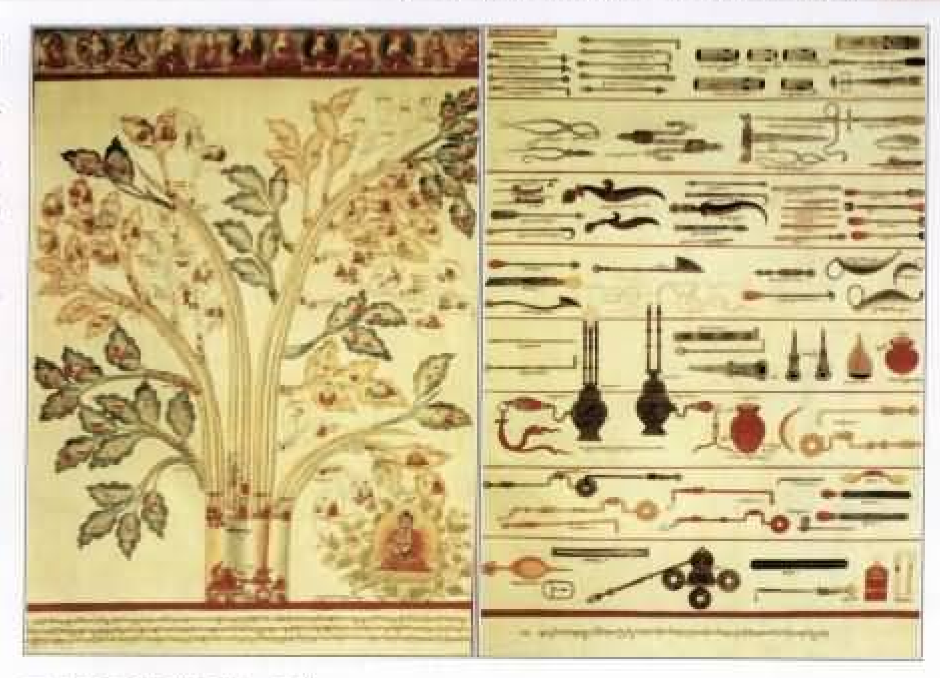
古印度炼金术和中国一样，虽也把炼金术包括在



印度早期外科手术器具

印度医学家相信，食物"燃烧"后生成了身体的7种组织，血液则在身体中传递着重要的精神。由此，医学家们开始正确地看待身体是由许多内在体系构成的，尽管并不能找到什么证据说明这些体系和器官之间的联系。而在同时期的阿输吠陀教中，疾病的来源却被认为是外界力量或生物体引起的，因为，只有它们才是肉眼能够看到的侵袭身体的来源。图中是印度早期外科手术的各种器具。它们的演进代表着印度医学的发展历程。

内，但首先是企图制成长生药。印度人认为炼制金子和长生药，配方中的主要成分是水银和硫磺。只不过印度人把水银看做阳性的，把硫磺看做阴性的；而中国人则把水银看做阴性的，把硫磺看做阳性的。除了水银和硫磺外，印度人还有一种五元素之说，即土、水、气、火，加上以太或空间本身。这种说法可能是从古希腊人那里传来的。当时印度流行的原子论也可能是如此，这种学说当时在婆罗门教徒和耆那教徒中颇受欢迎。



藏医食行药察图　清代

此图为《四部医典大注蓝琉璃》一书插图。该书于公元17世纪由第斯桑结嘉措在前人注释基础上编成。书中认为，医生观察疾病，首先要从病人的食物和行为了解病因，辨证论治。这本书中的插图，收集了药物标本上万件，还将书中的医学主张形象地画成4棵大树，以树叶说明食行药察的情节，并附有文字说明。中国藏医学的发展与古印度医学有着某种渊源关系。

藏医医疗器械图　清代

该图根据《四部医典》绘制，全书收录了藏医医疗器械约90种，其中包括诊断器械、外科手术器械，以及治疗器具，如肛门镜及多种外科手术刀、钳、镊、锯、钩、环钻及吸入器具等，反映了西藏医学医疗技术的较高水平。

古印度对现代科学的最大贡献是计数法，以及一般代数演算方法。古印度的其他科学一度受到吠陀宗教迷信传统的影响。波斯人阿尔白鲁尼（973—1048年）于公元1017年至公元1030年间学习了梵文文献并写成一部关于古印度历史和科学的著作。在谈到当时印度的天文学和数学时，阿尔白鲁尼说："我只能把印度的天文学和数学著作……比作既有珠贝又有酸枣，既有宝玉又有卵石的混合物。这两者在印度人眼中是相同的，因为他们自己不能提高到严格的科学演绎法的水平。"



上古中国的科学技术

SHANGGUZHONGGUODEKEXUEJISHU

中国：

公元前12世纪，中国殷末周初采用二十八宿划分天区。

《周礼·秋官·司烜氏》载，有专门掌管阳燧点明火于日的官员，“铜阳燧”为凹形的铜镜面，放置于太阳之下，能聚阳取火。

公元前11世纪，周朝建立测景台，最早测定黄赤交角，用土圭测日影，用漏水壶计时，并发明了浑天仪的前身——璇玑玉衡。

《周髀算经》是宫廷学校的教本，对几何学中的勾股定理作了清楚的阐述，并提出了最古老的宇宙结构学说——盖天说。

《诗经·小雅》上有世界最早（前776年）的可靠的日食记事。

自公元前722年起，直至清末，中国用干支记日，这是世界上使用时间最长的记日法。

《尚书·洪范》最早系统地记载了五行说，将木金水火土用青白红黑黄五色来表示，构成了中国古代的宇宙颜色论。在此基础上，天文学家们把伏羲所造的八卦发展成一套神秘的、无所不包的学说，也开创了中国古代数学家用算筹计算的传统。

《周礼·天官》载，周朝时的医生分为疾医、兽医、食医、疡医四类，为医学分科之始。

西周初期，《易经》的卦辞爻辞形成。《易经》对自然万物和人类的顺序出现进行推测，提出宇宙由天、地、雷、风、水、火、山和泽8种物质构成，并最早提出分类的概念。

《夏小正》一书，记录了一年12个月星象、物候、农事、祭祀等，是中国最早的星象物候历，并提出“鹰则为鸠”、“雀入海为蛤”等生化说，反映了一种动物可以从另一种动物转



变而来的思想。

公元前720年及其后14年，《春秋》载有37次日食记录，其中33次被认为可靠。

公元前约700年，中国甲骨文(河南安阳出土)上已有彗星观察的记载。

公元前613年，《春秋・文公十四年》载："秋七月，有星孛入于北斗。"这是首见的关于哈雷彗星的记载。

公元前600年，楚国孙叔敖主持引期思水，灌溉雩娄之野，此为最早的渠系工程。

春秋中期，晋国出现铸造的货币——空首布，它是现知较早的金属货币。

公元前541年，晋平公病，请名医医和。医和所叙述的外界环境对人体健康的影响，为中国最早的病因病理学说。

公元前514年至前496年，吴国匠师用"铁精"铸成钢剑，钢铁兵器开始成为军队的重要装备。

公元前513年，铸铁最早记载于《左传・昭公二十九年》中。

公元前500年，扁鹊在"六不治"中提出"信巫不信医不治"，说明他的医疗实践已与巫医决裂。

春秋晚期，开始使用铁犁、铁锄等铁农具，最早的韧性铸铁出现。

迟至春秋时期，中国已有了关于分数的记载；战国时期，对分数的运用已非常普遍，且在《孙子》、《管子》、《商君令》中都有比例的应用和记载。

"九九乘法表"在春秋战国时代相当普及，《管子》、《荀子》中都记有零星的乘法口诀。

春秋晚期至战国初期，中国的丝和丝织品标名海外，希腊人称为"塞里斯"，意为丝国。

春秋战国时期，奠定中医理论基础的《黄帝内经》和中国地理学前驱《山海经》出现。

公元前5世纪，春秋战国时期，金属货币已广泛流通。

公元前453年，中国传统的精耕细作技术开始萌芽。

公元前444年，鲁国公输般在洛阳附近雕刻了较早的石刻地图——《九州之图》，同年，公输般削木竹制鹊，可飞三年。另据《玉屑》载：公输般之妻云氏发明了伞。

公元前405年，墨子创立了一套科学方法，力图探讨自然界运动、变化的规律，并提出人获得知识的3条基本途径：闻知、说知、亲知。

中国有着特殊的地理环境：北面是寒风凛冽的西伯利亚荒原，东面和南面是辽阔的大海，西面是阿尔泰山、喀喇昆仑山以及沙漠、戈壁，西南是喜马拉雅山。高山大漠和沧海大洋形成了一个封闭的环境，中国先民则在这个环境创造了辉煌的文明。上古时代，中国科学技术一直保持着让西方望尘莫及的发展水平，中国的科学发现和发明远远超过同时代的欧洲。



黄帝与神农

Episode Ⅰ

华夏始祖黄帝
绢本设色　明代

黄帝是传说中中华民族的始祖。姓公孙，居轩辕之丘，故号轩辕氏，国于有熊，亦称有熊氏。黄帝道德情操高尚，被拥为西北方游牧部族的首领。他联合炎帝，打败由蚩尤率领的九黎族的入侵，代神农而成为部落联盟的首领。图为明人所绘《历代帝王名臣像册》中的黄帝像。



中国是世界四大文明古国之一，也是唯一没有出现严重文化断层的文明，其历史可以追溯到大约公元前3000年黄河流域的炎帝和黄帝部落。

炎帝是中华民族的始祖之一，又称赤帝、烈山氏、神农氏。因以火德王，故称炎帝。炎帝少而聪颖，知稼穑之事，他制耒耜，种五谷，促进了农业生产的发展，为先民向农耕文明转化创造了条件；尝百草，开医药先河；立市廛，辟市场，中国货币、商业发展由此起源；治麻为布，使民着衣，这是人类由蒙昧社会向文明社会迈出的重大一步；作五弦琴，以乐百姓——五弦琴"长三尺六寸六分，上有五弦，曰：宫、商、角、徵、羽"，其发出的声音，能道天地之德，能表神农之和，能使人们娱乐；削木为弓，以威天下。炎帝始创弓箭，不仅防止了野兽的袭击，还打击了外来部落的侵犯；制作陶器，改

河防一览图摹本（局部）　潘季驯　绢本　1590年

成图于公元1590年，全图以黄河为主，并将南北大运河与黄河并列绘出。详细标明了自然地理要素及河防工程，居民地按不同的行政等级配以相应的符号表示，名胜古迹以象形符号表示，河流以双线内精水波纹法表示，为中国现存最大的一幅古代治黄工程图。



善了人们的生活。在陶器发明前，人们加工处理食物，只能用火烧烤，有了陶器，人们对食物可以进行蒸煮加工，还可以储存物品、酿酒、消毒。陶器的使用，改善了先民的生活条件，对先民的饮食卫生和医药发展产生了深远的影响。为促使人们有规律地生活，按季节栽培农作物，炎帝立历日，立星辰，分昼夜，定日月。

自炎帝始，中国开始进入农耕社会。

黄帝也是中华民族的始祖，号轩辕氏、有熊氏，姬姓；一说姓公孙，姬姓部落首领。因有土德之瑞，故为黄帝。传说中远古时代华夏民族的共主，五帝的第一个。《史记·五帝本记》记载："黄帝者，少典之子，姓公孙，名轩辕，黄帝居于轩辕之丘。"轩辕之丘在今河南省新郑市轩辕丘，古为有熊国都城，黄帝之父少典为有熊国国君。时蚩尤暴虐，兼并诸侯，炎帝神农氏求助于黄帝。黄帝与蚩尤战于涿鹿，擒蚩尤而诛之，再经52战而天下威服。涿鹿之战奠定了华夏集团据有广大中原地区的基础，并起到了进一步融合各氏族部落的催化作用。部落联盟代替了原有的部落群，各部落相互交往的区域日趋扩大，协作劳动有了更大的规模，从而促成了技术的交流和进步。

黄帝时代，技术方面取得了重大进步，农耕技术由西方传播到北方和东方；养蚕、用丝织衣和制陶技术由西方推广到原来游牧的北方黄帝部落中；东方的轻舟和平原地区的车由



仓颉

仓颉据说是黄帝的史官，因集中使用原始文字，得以对群众自发产生的字符加以规整。在汉字从原始文字过渡到较为规范的文字的过程中，他起了独特的作用。《淮南子·本经训》有"昔者仓颉作书而天雨粟，鬼夜哭"之说。



三皇图

最早提出"三皇"的是《吕氏春秋》。最早指出三皇是谁的，是秦代的李斯，他说："古有天皇，有地皇，有泰皇，泰皇最贵。"此后又有不同的说法：《三五历记》说是天皇、地皇、人皇；《春秋纬·运斗枢》说是伏羲、女娲、神农；《白虎通义》说是伏羲、神农、祝融；《通鉴外记》说是伏羲、神农、共工；《礼纬·含文嘉》又说是燧人、伏羲、神农。尽管历代对三皇的解释不尽相同，但三皇的总称却一直未加改动。



炎帝部落图 《山海经》插图

炎帝部落是中国古代最著名的部落之一。此图根据《山海经》，记叙了有关炎帝及其后裔的故事。



黄帝部落图 《山海经》插图

此图来源于《山海经》，描述了黄帝与钟山之子的战争，黄帝与蚩尤的战争，以及昆仑山、轩辕丘等黄帝部落发源地与聚居地。此外还描绘了昆仑虚、开明兽等场景，亦属于黄帝部落文化遗存。

于引重致远而得到了改进；牛和马用来拉车；原始文字开始统一；大臣们开始着手制定历法；中国古代的音乐、天文、长度、面积、体积、重量等单位也在那时得到初步统一。

黄帝和炎帝后来被并称为“炎黄”，他们所代表的远古文化被视为中华文化最主要的古代源头。炎帝和黄帝塑造了中华文化的最初形象，他们的人格典范成为中国文化中的“圣人”和“贤者”；从这一基础出发，人们又把在伦理道德方面成一家之言和影响深远的孔子称为“圣人”，还把“内圣外王”作为政治家最崇高、最完美的人生境界——这就为中华文明的发展塑造了一种典范，一种理想精神。这种精神使得中国古人创造出了古代世界层出不穷的科技成果，形成了内容独特的中华文化。

烧制陶器的工序

陶器是人类用火后的产物。当人类掌握了用火技术和吃熟食以后，就采用各种办法来煮熟猎到的动物和采集的植物，储存剩余的食物和饮用水等。图为烧制陶器的工序，自左至右分别为：洗料、作坯、拉坯及装窑。



世界最古老的文字——甲骨文

Episode Ⅱ

刻符石器

贾湖遗址是公元前7000年至公元前5800年前的新石器时代文化遗址，位于河南漯河市舞阳县。发掘于该遗址的刻符石器，刻有单个符号。它与殷墟甲骨文、周朝金文中的某些文字相似，是研究汉字起源的珍贵资料。

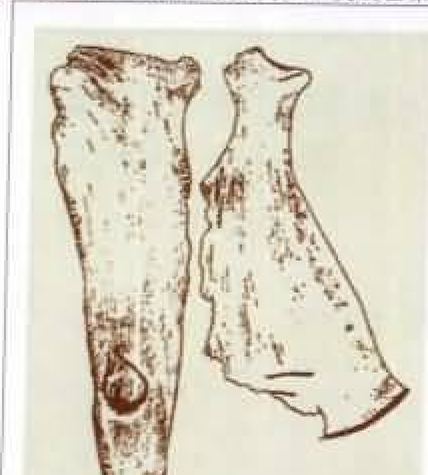
刻在甲、骨上的文字早先曾称为契文、甲骨刻辞、卜辞、龟版文、殷墟文字等，现通称甲骨文。甲骨文是中国商代和西周早期（约前16—前10世纪）以龟甲、兽骨为载体的文献，是已知汉语文献的最早形态。甲骨文有象形、指事、会意、假借、形声、转注六种形态，具备了汉字结构。而且甲骨文的书写很有美感：向左向右、侧写倒写、单刀双刀，并无固定；它的结字多方转折，大小不一，极具变化——在书法艺术上已经相当成熟。甲骨文的书写自上而下，由右到左，奠定了几千年来中国书法的基本布局。

商周帝王由于迷信，凡事都要用龟甲或兽骨进行占卜，然后把占卜的有关事情刻在甲骨上，并作为档案材料由王室史官保存。除占卜刻辞外，甲骨文献中还有少数记事刻辞。甲骨文献的内容涉及当时天文、历法、气象、地理、方国、世系、家族、人物、职官、征伐、刑狱、农业、畜牧、田猎、交通、宗教、祭祀、疾

古代的书籍"册"

"册"是中国古代的书籍，甲骨文中的"册"字是用一根环绕的线将三或四片竹简或木牍串系起来的形状。金文与甲骨文基本相同，而其中所见的横向线条，是编串竹简木牍的绳索或皮条，称为"编"。编与简牍组成的"册"，形象地反映了中国古代图书的特点，表明早在3000余年前，中国就有了可以串联的书籍。







病、生育、灾祸等，是研究中国古代社会历史、文化、语言文字的第一手资料。殷商时代，负责书写甲骨文的是贵族中的高级知识分子，被称为“贞人”、“巫史”。

1899年，时任清朝国子监祭酒的王懿荣在家人抓回的名为“龙骨”的药中，发现上面刻有刀痕，与铜器铭文颇为相似。后经考释，他断定为商代文字。甲骨文的发现轰动了中外学术界，把汉字的历史推到了公元前1700年的殷商时代，开创了文字学、历史学研究的新局面。

当甲骨文献被发现以后，人们先后对其进行复制和整理，并汇集和编纂成册。最早编纂甲骨文献的是江苏丹徒人刘鹗。1903年，刘鹗编纂出版了历史上第一部甲骨文集《铁云藏龟》。此后著录甲骨文献的书陆续出版。20世纪80年代，由郭沫若主编、胡厚宣任总编辑的《甲骨文合集》出版。《甲骨文合集》精选出的有研究价值的殷墟甲骨41 956片，并以五期断代为纲、22类内容为目编次而成，具有很高的学术价值。

傅家门卜骨刻符

卜骨刻符是指专门用于宗教占卜的骨块上刻画符号的遗物，这种带符号的卜骨是迄今所知中国早期带符号卜骨年代最早的实物资料，对探索中国古符号文字的起源具有重要价值。

“好”字溯源

在甲骨文与金文中，“好”字这一会意字的形体几乎完全相同，最流行的注解认为“好”为“女人抱子”，“女”指母亲，“子”为孩子，即妇女能多生孩子和精心抚养。这点在甲骨文中已有证实，也充分说明了先民们对妇女生育的一种赞美心态。



牛骨刻辞　拓片　商代

甲骨文距今已有3000多年的历史。敬畏天地神灵的商代人认为，牛骨或龟甲更容易通灵，也常用羊、鹿、猪骨等询问鬼神。占卜之后，将所卜事项记刻于甲骨之上，这就是甲骨文。

天圆地方——上古中国的宇宙猜想

Episode Ⅲ

彩陶 纹样 新石器时代

辛店文化是中国甘肃省和青海省所发现的青铜器时代文化，时间大约在公元前1300年到公元前1000年左右。辛店文化虽然已开始使用青铜器，但仍有许多石器以及大量陶器。图为根据台北博物馆馆藏的辛店出土彩陶的纹样速写，疑为“山”字。

石器时代是中国天文学的萌芽阶段。当时人们已经开始注意到太阳升落、月亮圆缺的变化——产生了时间和方向的概念；人们还在陶器上绘制了太阳、月亮乃至星辰的纹样。商周时代，天象观测的资料有了一定的积累，人们开始提出一些关于天体运行规律的猜测；主要是对天地的形状问题提出了各种不同的看法。这些看法是直观的，是天象观测经验性的总结，同时又具有一定的思辨色彩。

中国古代宇宙论有盖天、浑天、宣夜三大家，后又有昕天、穹天、安天三家，即所谓“盖天六家”，但最主要的是盖、浑两家。

最早的盖天说起于周代，主张“天圆如张盖，地方如棋局”；由于圆盖形的天与正方形的大地边缘无法吻合，于是又有人提出，天并不与地相接，而是像一把大伞一样高高悬在大地之上，地的周边有八根柱子支撑

木刻星象复原图

此星象图1974年出土于江苏省盱眙县西汉墓。它用图像的形式标示了观察者所见到的月亮、太阳、诸星宿与银河等天体。图中所绘的月食与彗星的关系，比公元66年的耶路撒冷彗星图要早100多年。







马王堆漆棺纹样　西汉

这是1972年在长沙马王堆汉墓发掘出的漆棺的装饰纹样。下图为死者足部所处位置，其中的玉璧、双龙为阳、天的象征，意为死者足部履天，因而阳气得以上升；上图为死者头部之所在，绘有双鹿与昆山，象征死者入藏于山后，福禄之气福荫子孙。这也是中国古代“阴阳五行”思想的体现。

玉璧

玉璧与玉圭、玉璋、玉璜、玉琥、玉琮被称为“六器”。《周礼》载：“以玉作六器，以礼天地四方，以苍璧礼天，以黄琮礼地。”古人认为天圆地方，因天为圆，又呈苍色，故“以苍璧礼天”；因地黄而方，故“以黄琮礼地”。古人以玉的颜色和形制，来配合阴阳五行之说，从而产生了祭祀天地四方的礼器。

着，天和地的形状犹如一座顶部为圆穹形的凉亭——共工怒触不周山和女娲补天的神话正是以此为依据的。战国时期，盖天说开始受到怀疑，于是修改成“天似盖笠，地法覆盘”，即天是球穹状的，地也是球穹状的，并且认为北极位于天穹的中央，日月星辰绕之旋转不息；西汉时仍然有人坚持这种说法，当时成书的《周髀算经》就是盖天说的代表作。

盖天说通常把日月星辰的出没解释为它们运行时远近距离变化所致，离远了就看不见，离近了才能看见它们照耀；这种解释比较牵强。后来，西汉的扬雄提出了“难盖天八事”，彻底否定了盖天说。但是，盖天说在中国古代仍然有一定影响力，晋朝虞耸提出的穹天论就是盖天说的沿袭和发展，南北朝时还出现了浑盖合一说。

其实，盖天说的不足是只承认半个天球，这就破坏了宇宙的和谐、对称，从而也把上下、高低绝对化。但也正因为盖天说的这一点，而不去讨论另外一个半球的问题，所以它并没有犯地球中心说的错误——它虽然否定了大地的运动，但在当时并不直接影响它的命运。

为弥补盖天说的不足，人们又提出了浑天说。战国时期的慎到（约前4世纪）一反盖天说半个天球的说法，明确提出“天体如弹丸”——为浑天说提供了一个重要

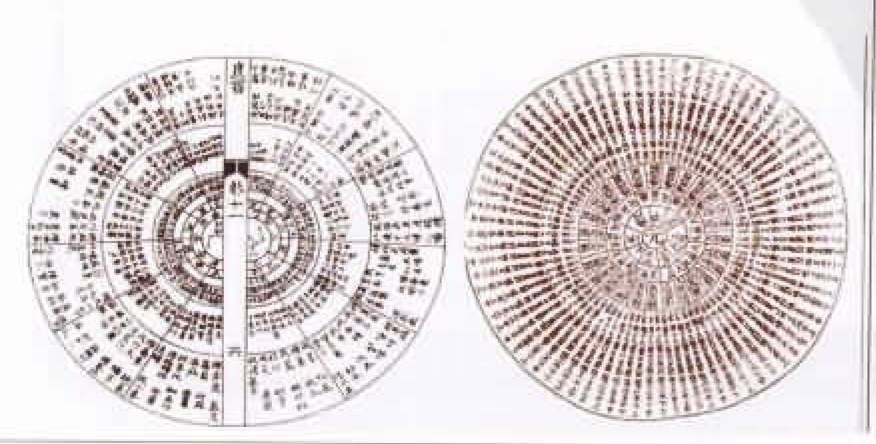


的思想来源。于是，人们在总结二十八宿等观测资料的基础上，逐步提出了“天球”的概念，随后惠施提出了球形大地的最初猜测。东汉的张衡则将其发展成为比较系统的“浑天说”宇宙理论。张衡的“浑天说”认为，天和地的关系就像鸡蛋中蛋白和蛋黄的关系一样，地被天包在当中；天的形状是一个南北短、东西长的椭圆球——不像盖天说所说的那样是半球形的。大地也是一个球，这个球浮在水上，回旋漂荡；后来又有人认为地球是浮于气上的。浑天说包含着朴素的“地动说”萌芽。

用浑天说来说明日月星辰的运行出没是相当简洁而自然的。浑天说认为，日月星辰都附着在天球上。白天，太阳升到我们面对的这边，星星落到地球的背面；夜晚，太阳落到地球背面，星星升上来。如此周而复始，便有了星辰日月的出没。

浑天说把地球当做宇宙的中心，这一点与盛行于欧洲古代的“地心说”不谋而合。不过，浑天说虽然认为日月星辰都附在一个坚固的天球上，但并不认为天球之外就一无所有了，而是说那里是未知的世界。

浑天说提出后，并未能立即取代盖天说，而是两家各执一端，争论不休。但是，在宇宙结构的认识上，浑天说显然要比盖天说进步得多，能更好地解释许多天象。另一方面，持浑天说者手中有当时最先进的观天仪——浑天仪，借助它，浑天学家可以用精确的观测事实来论证浑天说。在中国古代，依据



授时指掌活法之图

“授时指掌活法之图”是对历法和授时问题所作的简明小结。该图把星躔、季节、物候、农业生产程序灵活而紧凑地联成一体，将时间、节气、物候与对应的农事绘写在一幅图上，使用起来十分便利。

太玄图

先天图反映先天数，先天数反映天道的变化规律，正是与“太玄图”比较而列。只不过“先天图”为天用地之数的浑天象；“太玄图”为地承天之数的盖天象。

西汉铭旌

铭旌在丧葬仪式中象征死者的灵魂，接受吊丧者的祭拜，之后随死者一同埋葬。这幅马王堆出土的铭旌内容较为丰富，除墓主人的像外，其上部还有天的景象，其下是龟蛇负载的大地。





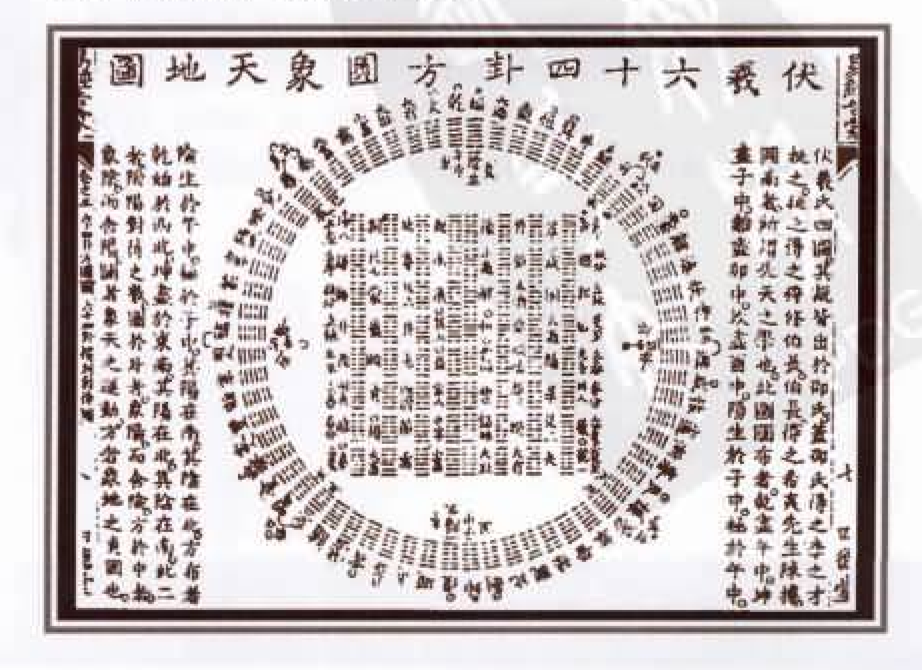
日月交食 画像石 汉代

这些观测事实而制定的历法具有相当的精度，这是盖天说所无法比拟的。另外，当时天文学家的浑象可以形象地演示天体的运行，使人们不得不折服于浑天说的思想，因此浑天说逐渐取得了优势地位。到了唐代，天文学家一行等人通过大地测量彻底否定了盖天说，使浑天说在中国古代天文领域称雄了上千年。

盖天和浑天两家宇宙学说，各有长短。盖天说没有地心说的错误，但却否认了大地的运动；浑天说承认了大地的运动，却又有地心说的味道。彻底否认天球存在、打破天有形观念的是宣夜说——它明确主张宇宙的无限。从宇宙观上说，三说之中宣夜说比较接近现代的宇宙理论，但就人们的常识来看，盖天说的观念反而比较直观。

伏羲六十四卦方圆象天地图

此图方圆各六十四卦，圆图在外象天，方图在内形地。这样的“天圆地方”之图，可以用来说“天地万物生成之理”。



《易经》——思考世界的本源

Episode Ⅳ

《周易》是儒家重要经典之一，被尊为五经之首，大道之源。其起源为河图、洛书。相传远古时代，黄河出现了背上画有图形的龙马，洛水出现了背上刻有文字的灵龟，圣人依此制定出八卦。殷商末年，周文王写下了六十四卦的卦辞；春秋时期，孔子著《易传》，秦始皇焚书坑儒时，李斯将其列为医术占卜书而幸免于难。

《周易》分为《易经》和《易传》两部分。其基本因素为阳爻(—)、阴爻(— —)，

《周易》书影

《周易》乃群经之首，是十三经中最深奥、最神秘的书，也是中国哲学思想的渊薮。《周易》把世界上千变万化、纷纭复杂的事物抽象为阴、阳两个基本范畴，对后世中国哲学的发展产生了深远影响。至今，鸿儒硕学者，街头卖卜者，无不奉其为圭臬。

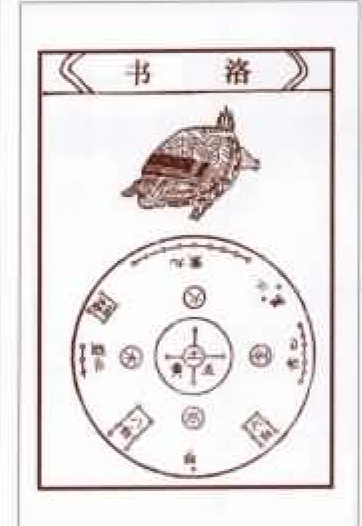
八卦重点宇宙现象

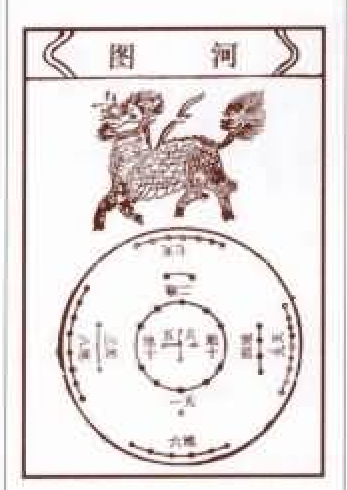
《易经》中的八卦已经将全部宇宙的现象画下来了。其中的八种现象就是天、地、日、月、风、雷、山、泽。孔子曾在《易经》的《说卦传》上说："天地定位"，从任何方向望去，都是天。"雷风相薄"，大气摩擦发为雷电，雷电的震荡成为气流。"山泽通气"，这个道理与针灸的应用是完全相同的。"水火不相射"，火多则水干，水多则火熄，很难达到均衡。这就是八种现象相生相克的关系所在。













把二爻重叠起来，构成八卦，即乾、坤、震、艮、离、坎、兑、巽。八卦再重叠起来，构成六十四卦，如泰、否，每卦均有六爻。"经"包括六十四卦的卦象、卦名、卦辞、爻辞四部分。卦辞是解释全卦的含义，爻辞是解释每一爻的意义。《易经》分为上下两篇，上经从乾到离，凡三十卦；下经从咸到未济，凡三十四卦，自汉以来传本未变。

对《周易》的认识，学界一直存在着争议：有人将其定性为筮书；有人认为《周易》是一部史书；也有人认为它是一部哲学著作。如果从《周易》的产生以及在实践中的应用看，说它是一部筮书，似乎无可厚非，这在《左传》、《国语》中都能找到大量的记载。当然，汉以后《周易》的性质发生了变化，虽然它还保留着占筮的功能，但其道德伦理的功用似乎更为统治者赞赏。汉武帝"罢黜百家，独尊儒术"，设置"五经博士"，《周易》成了安邦治国的"法定"经书。

《周易》的"周"字有两种说法：一种说法是，"易道周谱，无所不备"；另一种说法是，"周"指周朝，朝代名。唐代经学家孔颖达据《世本》等书的记载说："神农一曰连山氏，亦曰列山氏。黄帝一曰归藏氏。"由此可见，《周易》并不是一部独立的著作，它是在《连山》、《归藏》的基础上演变而来的。神农时代称为《连山》，黄帝时代称为《归藏》，至周朝才改名为《周易》。"周朝说"为多数人所接受，"易"字的解释至今尚无定论。从中国哲学的基点看，一部《周易》无非是讲阴阳两种力量的相互作用，由此产生万物。刚柔相济，变在其中，这就是"易"

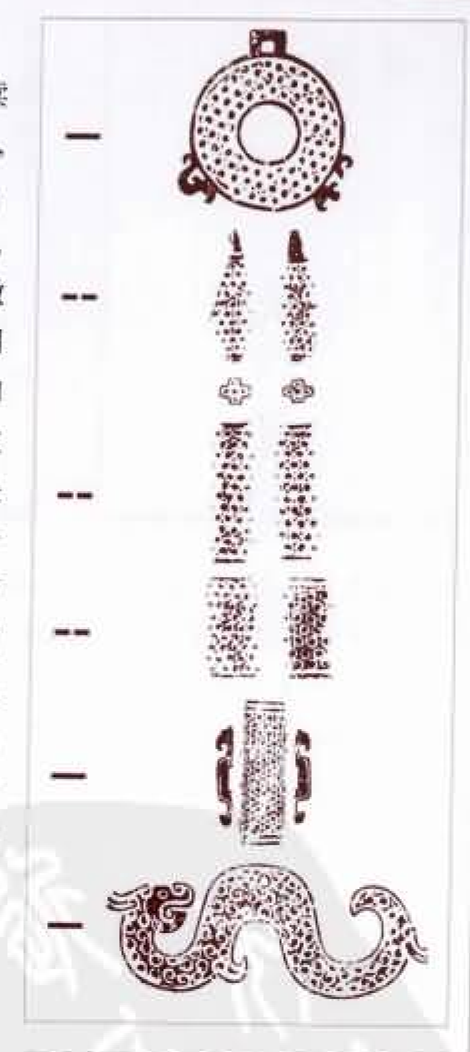
河图洛书

河图洛书所描绘的是中国传说中的天赐图像。其有关记载最早见于《尚书·顾命》。《周易》云："河出图，洛出书，圣人则之"。但对河图与洛书的内容已不能详考。汉代传说，伏羲时有龙马出于黄河，背负河图，伏羲据以画八卦。而夏禹时，有神龟出于洛水，背负洛书，夏禹据以作洪范九畴。宋初道士陈抟提出，龙图即河图。其后，刘牧又据以发展为河图和洛书两种图式。后宋儒认为刘牧将河图与洛书颠倒，故朱熹《周易本义》中将刘牧图名称互易，图式不变。

的核心思想。

由于《周易》经文深奥简古，春秋时期的学者阅读起来已感到十分困难，于是解释经文的文字开始出现，历史上称为《易传》。《易传》由七篇文章构成，分别是：《彖》上下篇、《象》上下篇、《文言》、《系辞》上下篇、《说卦》、《杂卦》和《序卦》。古人把这十篇“传”叫做“十翼”，意思是说“传”是附属于“经”的羽翼，即用来解说“经”的内容。《彖》是专门对《易经》卦名和卦辞的注释。《象》是对《易经》卦名及爻辞的注释。《文言》对《乾》、《坤》二卦作了进一步的解释。《系辞》是《易经》的哲学纲领，其内容博大精深，是《易传》十篇中最重要、最有代表性的文字；也是第一部对易的产生、原理、意义及易卦占法等的全面、系统的说明，阐发了许多从《易经》本文中看不到的思想。《说卦》是对八卦卦象的具体说明，是研究术数的理论基础之一。《杂卦》将六十四卦以相反或相错的形态排成两两相对的综卦和错卦，从卦形中看卦与卦之间的联系。《序卦》讲述六十四卦的排列次序。实际上，“传”的作者主要是借解说经文来发挥自己的思想观点。

《周易》内容十分丰富，涉及的范围很广，它上论天文，下讲地理，中谈人事，从自然科学到社会科学，从社会生产到社会生活，从帝王将相如何治国到老百姓如何处世做人等等，都有详细的论述。其论述的核心问题



损卦玉佩　战国

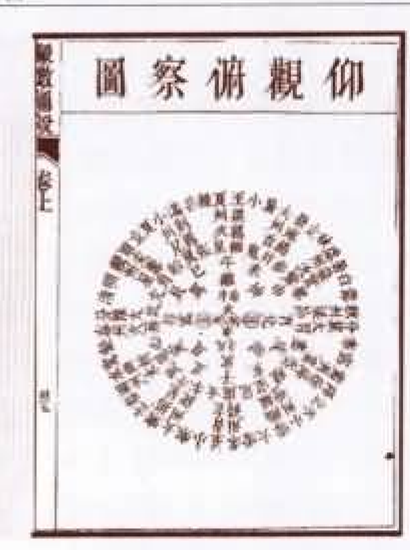
艮上兑下，上山下泽，是为损卦。损卦是讲君子道德修养的卦。此图的山泽损玉佩，出土于山东鲁故城。



周易五行

五行、河图、洛书和八卦都是《易》学的基本概念，也是《周易》的重要组成部分。它们既可独立成学，相互间又存在着紧密联系。先民通过这几个逻辑结构，形象地记录了《周易》中用二维与三维观念划分天地万物的标准。其中，五行方位说是五行学说的重要内容。在五行方位说中，木、火、土、金、水分别表示东、南、中、西、北五个方位。在五行图中，一般呈上南下北、左西右东的格局，数字表示这五方位的大虚大小，整个五行方位为二维空间方位。





三才立极图 仰观俯察图

《周易》称天道、地道、人道为三才，后多泛指天、地、人。《周易》中的哲学思想认为，世界是由天地人“三才”主宰，他们都具有阴阳两面性，又相互影响，只有三者相互和谐，才能凸显人、社会、自然的和谐。而在认识三者关系上，只有仰观天象，俯察地理，才能进行多方位的思考和观察，认识全面到位。

是运用“一分为二”、对立与统一的宇宙观，唯物主义和辩证法的方法论，揭示宇宙间事物发展、变化的自然规律，对立与统一的法则，并运用这一世界观，通过八卦预测自然界、社会和人本身的各种信息。

《周易》是中华民族的先知在蛮荒时代“仰则观象于天，俯则观法于地”而创制的不朽经典；它用画卦的形式，对天地、宇宙运动进行了形象模拟，揭示了天地万物的生存之道，被称为“天人之学”，成为中国传统文化的根源、一切学术思想的源泉。

二十四节气——天文学和历法

Episode V

二十四节气图

早在西周，人们就学会了用圭表测日影的办法来确定春、夏、秋、冬四季。战国末期，人们确立了二十四节气，从而大大促进了农业生产。直到今天，人们仍然沿袭古人，根据二十四节气来判断时令。

16世纪之前，天文学在欧洲的发展一直很缓慢，在从2世纪到16世纪的1000多年中，更是几乎处于停滞状态。在此期间，中国天文学则稳步发展，其成就大体可归纳为：天象观察、仪器制作和编订历法。

中国在传说中的帝尧（约前24世纪）时期就已经有了专职的天文官，从事观象授时。那时一年分为366天，分为四季，用闰月来调整月份和季节。仰韶文化时期，人们在描绘光芒四射的太阳形象时也描绘出太阳边缘有大小如同弹丸、成倾斜形状的太阳黑子。

中国最早的天象观察，无论是对太阳、月亮、行星、彗星、新星、恒星，以及日食和月食、太阳黑子、日珥、流星雨等罕见天象都有记载：其观察之仔细、记录之精确、描述之详尽，达到令人惊讶的程度。而且，中国有世界上最早最完整的天象记载，是欧洲文艺复兴以前天文现象最精确的观测者和最好的保存者。

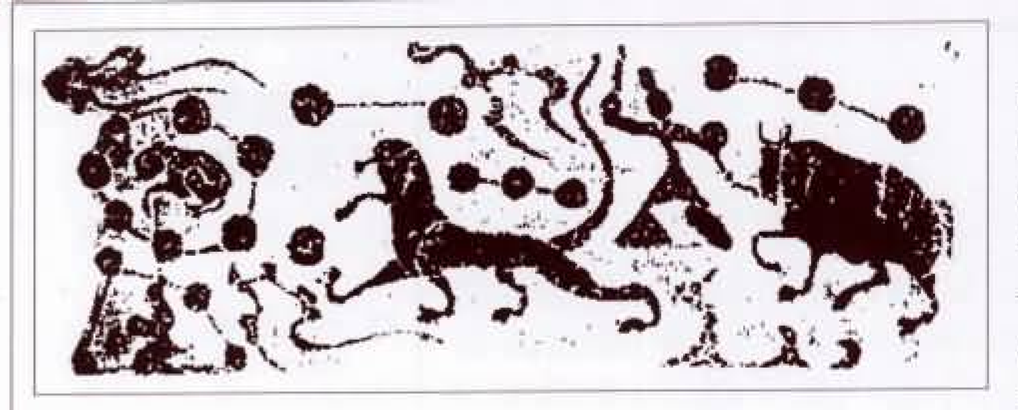
中国在创制天文仪器方面，也创造性地设计和制造了许多种精巧的观察和测量仪器。其中最古老、最简单的天文仪器是土圭，也叫圭表。它是用来度量日影长短的，但是从什么时候开始有的，已无从考证。



天文气象杂占帛书　秦汉时期

这是秦汉时期有关天文星象的占卜书。它体现了中国古人天人合一的思想，同时也反映了古代中国人以天象附会人事的传统。



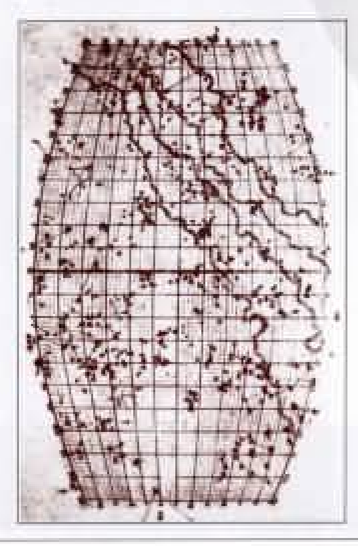


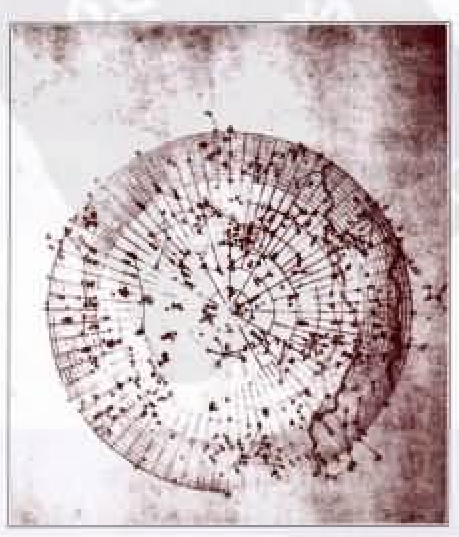
牛郎织女星图

织女星是夏夜星空中最著名的亮星之一，被荣称为“夏夜的女王”。它位于天琴座中，与河东的牛郎隔河相望。在山东长清孝堂山东汉石祠中，织女星被刻画成一位正在纺织的妇女，其中织机的结构基本可以看清楚。

中国于公元前240年的彗星记载，被认为是世界上最早的哈雷彗星记录——从那时起到1986年，哈雷彗星共回归了30次。1973年，考古工作者在湖南长沙马王堆的一座汉朝古墓内发现了一幅精致的彗星图，图上除彗星之外，还绘有云、气、月掩星和恒星。天文史学家对这幅古图做了考释研究后，称之为《天文气象杂占》，认为这是迄今发现的世界上最古老的彗星图。早在2000多年前的先秦时期，中国的天文学家们就已经对各种形态的彗星进行了认真的观测，不仅画出了三尾彗、四尾彗，还似乎窥视到今天用大望远镜也很难见到的彗核。

中国还有不少太阳黑子的记录，如约公元前140年成书的《淮南子》中说：“日中有踆乌。”公元前165年的一次记载中说：“日中有王字。”战国时期的一次记录描述为“日中有立人之像”。更早的观察和记录，可以上溯到甲骨文字中有关太阳黑子的记载，离现在已有3000多年。从公元前28年到





恒星图 清代

清朝的恒星图将天球体割制分幅绘制，以北天极和南天极为圆心，采用赤道经纬度作为确定星位的坐标网，并考虑到岁差对黄道和赤道交点东移的影响。此图为北天星图，图上为北，右为东，标出了402颗恒星。图上有赤经差、赤纬差各一度的坐标网，因而定位精度较高。

明代末年的1600多年当中，共有100多次翔实可靠的太阳黑子记录，这些记录不仅有确切日期，而且对黑子的形状、大小、位置乃至分裂、变化等，都有详细的描述。

随着观测资料的积累，战国时期已有天文学的专门著作，齐国的甘德著有《天文星占》8卷，魏国的石申著有《天文》8卷，这些书中都包含有关于行星运动和恒星位置的知识；《甘石星经》即来源于此。



甘德天象图

甘德是战国时期齐国人，也是当时最为著名的天文学家。他对恒星作了长期而细致的观测后，编制了世界上最古老的星表，从而对全天恒星分布位置给予了定性描述。同时，甘德还建立了行星回合周期的概念，并测得木星、金星和水星比较准确的会合周期值。在观测木星时，由于望远镜还未发明，甘德仅凭肉眼就发现了木星的卫星木卫二，比伽利略早了近两千年，成为天文学史上的一个奇迹。图为根据甘德观测所绘制的天象图。

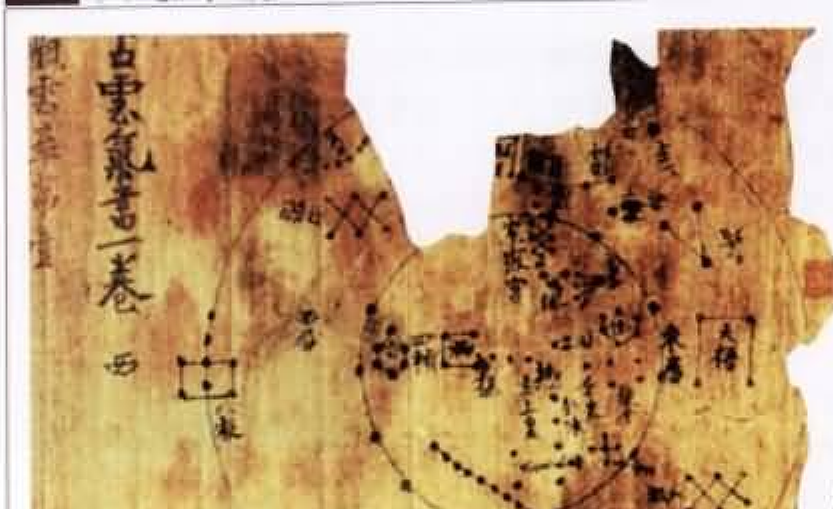
和天文学相联系的是历法。春秋后期，采用了一年为365.25日，19年7闰，这种历法叫古四分历——比真正的年长度每年多11分钟。欧洲古罗马人在公元前43年——比中国晚500年——才知道采用四分历。

由于农业生产的需要，人们划分了二十四节气，平均15天设置一个节气；实质上是不自觉地根据太阳的位置和视运动来确定的一种历法。公元前104年，由邓平等制定的《太初历》，正式把二十四节气订于历法，明确了二十四节气的天文位置。太阳从黄经零度起，沿黄经每运行15度所经历的时日称为“一个节气”。每年运行360度，共经历24个节气，每月2个。其中，每月第一个节气为“节气”，即：立春、惊蛰、清明、立夏、芒种、小暑、立秋、白露、寒露、立冬、大雪和小寒等12个节气；每月的第二个节气为“中气”，即：雨水、春分、谷雨、小满、夏至、大暑、处暑、秋分、霜降、小雪、冬至和大寒等12个节气。



天象图　西汉

古时观察天象，制定历法的方法主要是望星宿、望云气。古人认为：星宿与云气的变化，日食、月食的出现，均是上天预示凶吉的兆象。



敦煌卷子紫微垣星图

中国古代对天的分野，主要应用两套系统。一套是“三垣二十八宿”，另一套则是“十二辰三垣”。这两种系统多用于占星。其中，三垣是指北天（中央）和东宫、南宫附近，不包括二十八宿的星座即紫微垣、太微垣、天市垣。而这之中的紫微垣，就是所谓的“中宫”，和四象（龙虎龟雀）并称，对应黄龙，为黄帝，为轩辕，头向“星”、“张”二宿，尾向“柳”、“井”二宿，属土，象征统治天下的帝王。图中是敦煌出土的有关紫微垣的星图。

“节气”和“中气”交替出现，各历时15天，现在人们已经把“节气”和“中气”统称为“平气”。

二十四节气反映了太阳的周年视运动，所以节气在现行的公历中日期基本固定，上半年在6日、21日，下半年在8日、23日，前后只差1-2天。

北朝时期齐国(550—577年)的张子信发现了太阳视运动的不均匀现象。隋仁寿四年(604年)，刘焯在他的《皇极历》中根据这种不均匀现象对二十四节气提出改进，将周天等分成24份，太阳移行到每一分点时就是某一节气的时刻。这样安排的节气间隔不是很均匀，此法称为定气。定气主要在历法计算中使用，在日用历谱上一直使用平气，直到清代才开始使用定气。

《黄帝内经》——阴阳理论与五行学说的应用典范

Episode Ⅵ

中医学是中华民族在长期的医疗、生活实践中，不断积累，反复总结而逐步形成的具有独特理论风格的医学体系；是中国对世界科学文明做出的最伟大的贡献之一。

中国在夏、商、西周时期就有了初步的医学；巫术和医学已逐渐分开。《周礼》上记载的医有多种类型，如食医、疾医、兽医等，而且当时的医生似乎还懂得记录“病历”。考古发现那时使用的药物近百种，治疗的方法除服用指定的药物外，还有沐浴、针刺、涂抹等，也懂得了讲究人体卫生和环境卫生。

春秋战国时期，随着医疗保健知识的积累和医学水

黄帝像　清代

该象牙雕黄帝像，通高18.5cm，座宽8cm。黄帝是传说中中华民族的先祖，同时也是中国医药学的创始人之一。《黄帝内经》就是托其名的经典医学著作。



任脉图

《黄帝内经》是先秦时期医学理论的集大成之作。全书包括《素问》和《灵枢》两大部分，以论述人体解剖、生理、病理、病因和诊断等基础理论为重点，对针灸、经络以及卫生保健等医学知识也有详述。在该书中，人体是一个完整的有机整体，身体部分之间的紧密联系构成整体观是中国医学的主要特征。而在经络学方面，该书提倡，经脉是运行气血，联络脏腑，沟通内外，贯穿上下的路径。因此，运动健身妙在通经。



周禮卷第九

秋官司寇第五　鄭氏注

惟王建國辨方正位體國經野設官分職

以為民極乃立秋官司寇使帥其屬而掌

邦禁以佐王刑邦國

刑官之屬大司寇卿一人小司寇中

大夫二人士師下大夫四人鄉士上士八

人中士十有六人旅下士三十有二人

周礼书影

据《周礼·天官》记载，西周时期的医学分科已有疾医、疡医、食医和兽医。古代的疾医相当于现代的内科，疡医相当于现代的外科和骨伤科，食医相当于现代营养饮食方面的医科，而兽医则与现代兽医相同。《周礼·天官》还记载：“疾医中士八人，掌养万民之疾病。”说明当时朝廷还设有掌管治疗内科疾病的官员八人。同时，还建立了医疗考核制度，以此决定他们的级别和俸禄。

平的提高，中医对人体的解剖、病因病理、疾病的诊治等方面的认识已有长足的发展，中医开始建立自己独特的基础理论体系，其标志就是成书于公元前3世纪战国晚期的《黄帝内经》。

《黄帝内经》简称《内经》，是托名黄帝及其臣子岐伯、雷公、鬼臾区、伯高等论医之书；包括《灵枢》和《素问》两部分，各卷81篇，共80余万字。主要内容是反映战国时期医学理论水平的，其中有些内容可能出于秦汉及六朝人之手。

在《黄帝内经》中居于主体地位的是经络与针灸，它继承和发展了马王堆帛书《足臂十一脉灸经》、《阴阳十一脉灸经》、《脉法》、《阴阳脉死候》和张家山汉简《脉书》，乃至扁鹊等的经络学说和针刺治疗经验；在针刺治疗上，不仅突破了上述帛简医书和《五十二病方》等只采取灸法的水平，同时也远比《史记·扁鹊传》记载的治疗经验更加具体和系统。《灵枢》：经脉篇、经别、经筋，更加完整和系统地论述了经络学；九针十二原、九针论等篇，论述了针刺器材的制备；九针十二原、邪客等各篇，论述了持针法则；诊要经终、禁例等各篇，论述了针刺禁忌等，以及各种疾病的针刺疗法。《素问》：气穴、气府、骨空、水热穴等各篇，论述了腧穴分布；八正神明、离合真邪等各篇，论述了针刺的补泻方法。

《黄帝内经》撰成之初，有《黄帝脉书》、《扁鹊脉书》等20余种单行本。西汉后期，刘向、刘歆父子校书，始由李柱国等校定为《黄帝内经》18卷。到东汉初班固撰《汉书》时，这些医籍的传本仍被完整保存——载于《汉书·艺文志》。



东汉末张仲景撰《伤寒杂病论》、魏末皇甫谧撰《针灸甲乙经》时，《汉书·艺文志》的18卷本《黄帝内经》传本即已不复存在：不仅被分割为《素问》、《九卷》或《针经》两书，而且“亦有所亡失”。

《黄帝内经》书影　明刊本

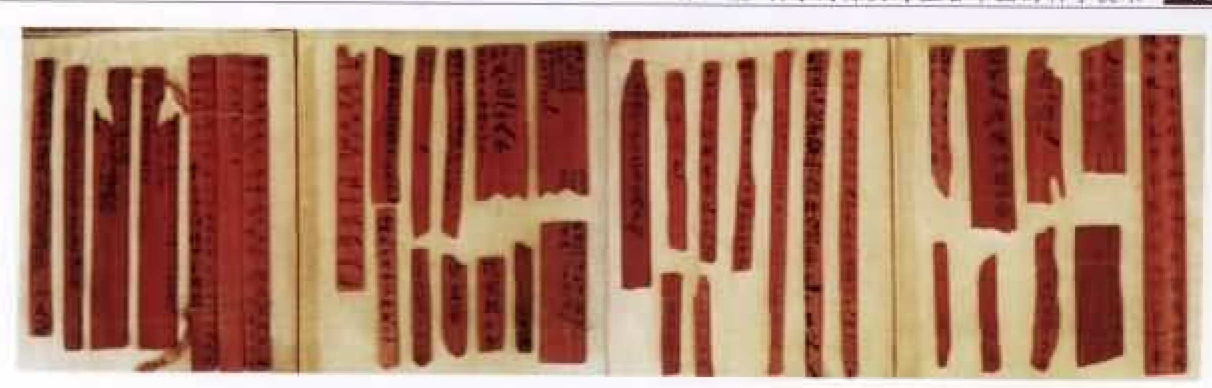
在《黄帝内经》中，对脏象学说和经络学说作了系统而全面的论述。其中它提出，心、肝、脾、肺、肾是人体最重要的五个脏器，是生命之本，精、神、血等人体最重要的生命要素都储藏在这些脏器中。它们能帮助人体保持阴阳的相对平衡，以此保持人体的健康。图为《黄帝内经》明嘉靖年间赵府居敬堂刊本。



寶命全形論　八正神明論
離合真邪論　通評虛實論
太陰陽明論　陽明脉解
寶命全形論篇第二十五
黃帝問曰天覆地載萬物悉備莫貴於人人以天地之氣生四時之法成

《黄帝内经·素问》书影　明刊本

《素问》是《黄帝内经》中的一部，是现存最早的中医理论著作之一，大约成书于战国。这部著作并非一人一时之作，它是托黄帝之名，汇集当时众多医生，融合各家之长而共同完成的。因此，它也成为了中医学最重要的经典著作之一。图为该书书影。



《治百病方》简牍

1972年11月于甘肃汉墓出土的《治百病方》简牍，共92枚，其中一枚有“右治百病方”5个字，该简牍由此得名。在《治百病方》中，记载了较完整的医方30多个，所用药物百余种，剂型有丸、散、膏和丹等。该简牍还记述了诸多病名、症状以及病理变化和方剂功用，反映了西汉实践医学的较高水平。

《黄帝内经》的出现，标志着中国医学由经验医学上升为理论医学。它总结了战国以前的医学成就，并为战国以后的中国医学发展提供了理论指导。在整体观、矛盾观、经络学、脏象学、病因病机学、养生和预防医学以及诊断治疗原则等各方面，都为中医学奠定了理论基础。

《黄帝内经》的出现，也产生了广泛的世界影响。日本、朝鲜等国都曾把《黄帝内经》列为医生必读课本，部分内容还先后被译成英、法、德等国文字，在世界上广泛流传。近年来一些欧美国家的针灸组织也把《黄帝内经》列为针灸师的必读参考书目。

《针灸逢源》“九针图”　李学川　清代

《针灸逢源》是继《医宗金鉴·刺灸心法要诀》之后又一部内容较为完备，而又具有一定特色的综合性针灸专著。与明代的同类专著相比，总体内容上与《针灸大成》类似，但编排取舍更为精审，增加了中枢、急脉两穴，共361穴。后人论述经穴总数时，多以此为凭。该书还汇集了当时新的针灸治疗经验，如“太乙神针”和刺痧法等。图为该书涉及针灸理论的“九针图”。



《黄帝内经·灵枢》书影　明刊本

《灵枢》一书又名《针经》，古时也称《九卷》或《九灵》，与《素问》合称《黄帝内经》。该书性质与《素问》相似，但其内容偏于针灸研究居多。该书在晋唐时流传不广，到宋代分成24卷共81篇，在民间广泛流传。

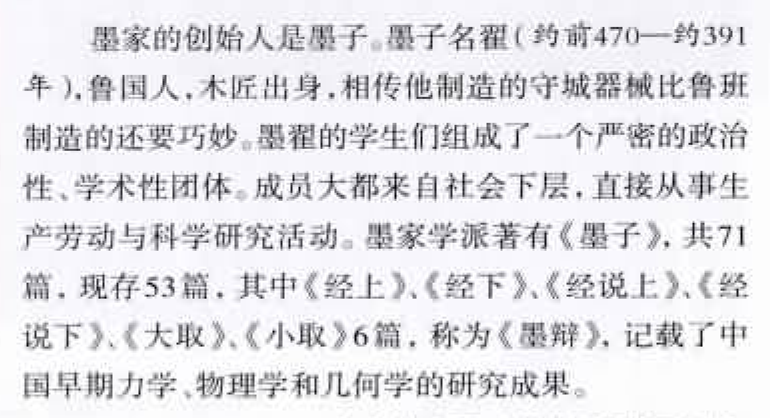
湮灭的物理学——《墨辩》

Episode Ⅶ

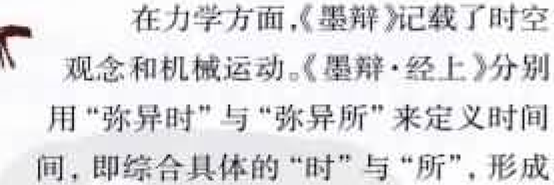
◀ 春秋时期的车模型

▼ 车之六等差数

春秋时期的物理学已有相当规模和严格制度。在《国有六职》篇的第四节中，就阐明了造车的六等之数，即车不同部位的制作参数。同时文中还强调了制作车轮须达到的技术要求与轮高尺寸的确定。



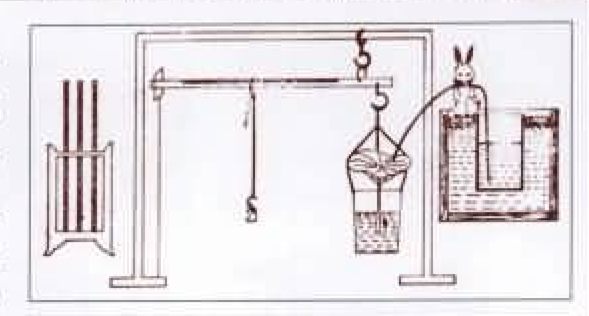
墨家的创始人是墨子。墨子名翟（约前470—约391年），鲁国人，木匠出身，相传他制造的守城器械比鲁班制造的还要巧妙。墨翟的学生们组成了一个严密的政治性、学术性团体。成员大都来自社会下层，直接从事生产劳动与科学研究活动。墨家学派著有《墨子》，共71篇，现存53篇，其中《经上》、《经下》、《经说上》、《经说下》、《大取》、《小取》6篇，称为《墨辩》，记载了中国早期力学、物理学和几何学的研究成果。

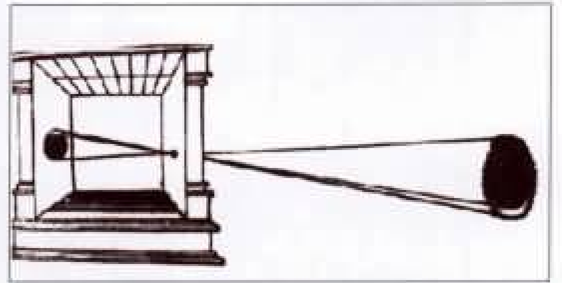


在力学方面，《墨辩》记载了时空观念和机械运动。《墨辩·经上》分别用"弥异时"与"弥异所"来定义时间间，即综合具体的"时"与"所"，形成"时间"与"空间"的观念。《墨辩·经上》认为"运动"就是物体位置的迁移，"静止"就是物体在某处停留有一定的时间；物体运动必定在时空之中进行，运动、时间、空间三者之间有密切联系。

车之六等差数			
等 级	物（或人）	高 度	差 数
一	车 轸	4尺	4尺（距地）
二	戈 柲	4尺	4尺（距轸）
三	人	8尺	8尺－4尺＝4尺
四	殳	1丈2尺（1寻4尺）	1丈2尺－8尺＝4尺
五	车 戟	1丈6尺（2寻）	1丈6尺－1丈2尺＝4尺
六	酋 矛	2丈（1常4尺）	2丈－1丈6尺＝4尺

《墨辩·经上》把“力”定义为“形之所以奋”，意即力是物体运动的原因；也有人解释此条中的“力”为体力，意即只有凭借体力人体始能有所动作。《墨辩·经说》指出物体的重量也是力，物体之所以能够下落，或被上举，都有重力的表现。《墨辩·经说》的另一条还指出，物体在只有重力的作用下，下落必然竖直。可见墨家对于力、重、运动之间的关系，已有一定的认识。对于力的平衡现象，《墨辩·经说》以头发悬物为例，分析了材料是否断裂，决定于材料的内力和外力是否平衡。对于物体的浮沉和圆球的随遇平衡，也作了规律性的说明。关于杠杆，《墨辩·经说》记述了等臂和不等臂两种情况的实验。墨家还研究过两端重量固定，变动两臂的长短使杠杆偏转，或者进行过横梁负重而弯曲的实验。此外，他们还论述了轮轴、斜面等简单







杠杆原理应用

杠杆平衡的原理，在墨家力学中多有记载：“衡，加重于一旁，必捶，权重相若也。相衡，则本短标长，两相加焉，重相若，则标必下，标得权也”。这句话大意是，在杠杆的两端悬挂相等的重物和砝码，支点在中间时，则杠杆达到平衡。如若给重物边加重，只有将支点向重物移动，才有可能再次达到平衡。这就是墨家对杠杆、重力、力臂等的认识结合。图为南北朝道士李兰发明的秤漏，是对杠杆平衡原理的应用。

小孔成像

墨家对光学的研究，最重要的是对小孔成像原理的解释。在黑暗屋子里朝阳的一面墙上开一个小孔，人对着小孔站在屋外，屋里小孔对着的墙壁上会出现倒立的人影。他们认为光线沿直线传播，人体上身挡住了上面射向小孔的光线，因此上部影子就在墙的下方，同理，下部影子就在墙的上方，因此形成倒影。尽管这些解释现在看来相当原始，但一些观点仍有现代物理研究一致。

汉画像中的双辕车

自战国晚期以来，社会生活中的马车作为交通工具的功能增强了，权贵出行时会保持一个车队，如一个县令的车队就要由七辆马车组成。这就要求车的结构快速地更新。只驾一马的双辕车，由轭引式改为胸带式，轭与引分离，两引连接为一整条绕过马胸的胸带。从而，马驾车的支点和安车的受力点分开，分别由其颈部和胸部承担，马体局部的受力相应地减轻，驾乘也更加方便和安全。





中国汉代至宋代马车系驾方式的演变

自黄帝看见大风吹着落在地上的蓬蓬不断地滚动前进得到启示，发明了车以后，中国古代车具的发展就随着历史的发展不断演变。中国古代马车的系驾法随着车的形制的变化，经历了三个主要发展阶段，即軛式系驾法、胸带式系驾法、鞍套式系驾法。其相应的使用时间约相当于先秦、汉至宋、元至今三个时期。由于双辕车的流行，西汉时发明了“胸带式系驾法”。这一系驾方式到元初时，演变为“鞍套式系驾法”，沿用至今。

机械。

《墨辩·经下》中有相互联系的八条论述了几何光学知识。首条讨论成影，说明影是光照不及所致；次条指出在两个光源之下，物体能够产生两个影；第三条记录了针孔成像实验，用光线的行进去说明倒像的生成，处处体现出光的直进思想，并用箭的行进作形象的比喻，还认识到光线是从物体射出，进入人目才引起视觉；第四条记述了一个有趣的反射现象，即经反射后的日光照到人体，投在地面的人影必在日与人之间；第五条讨论了直立木杆在光源照射之下，投在地面的影子的长度大小的变化规律；第六条讨论平面镜成像的规律；第七条记载凹面镜成像的情况。《墨辩·经下》云：“鉴洼，景（影）一小而易，一大而正，说在中之外、内。”这里“中”指球面镜的中心和焦点之间的一段空间。当人从远处

车辆保养　画像砖拓片　汉代

车战是古代中国特有的战斗形式，双方于行进中在车与车之间作近距离的格斗。战车的配备，每辆车可载甲士3名，左方甲士持弓、箭，主射，是一车之首，称甲首也叫车左。右方甲士持戈或矛，主击刺，称车右。居中的是驾车的御者，只佩带卫身的剑。作战时，以横队在开阔地上展开，在两车相对错毂之际，车右用戈或矛伤及对方。所以，作战时战车只能向左转弯，车右才能发动进攻。图中是汉朝时人们保养战车或者遇代步车的情形。

向镜走来，在球心之外时，见到自己缩小的倒像；走在球心和焦点之间，因像在人的背后，故无所见；过了焦点又见到自己放大的正像。这种观察是以人体、人目代替今人用灯烛、白屏的实验方法；第八条记载了凸面镜成像的规律。从这八条来看，头五条首论影的成因，次述光和影的关系，第三条以针孔成像论证光的直进，接着又说明光的反射，最后讨论了光、物、影三者的关系；这样，光学中的影论部分已基本具备了，后三条分别论述了平面镜、凹面镜、凸面镜的成像规律，这正是光学中像论部分的基本内容，八条合起来即为几何光学的基础。这八条的特点在于：不但全是实验的忠实记录，极少臆想成分；而且前后连贯构成整体，次序安排合理，逻辑严密，虽只300余字，却可堪称2 000多年前世界上最早、最系统的几何光学论述。

《墨辩》对于物质是否可分问题也有论述，并且还有原始的元素论与物质不灭的朴素思想。

中国最早的手工业官方文书

《考工记》是中国最早的一部记载手工业工艺技术的官书。其中记载了较多的力学和声学知识，是研究先秦时期科学技术的重要文献。该书后来还补入《周礼》。

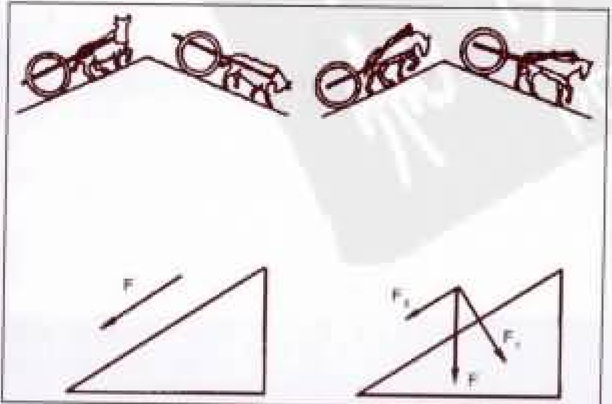
制作车轮

汉代时期，关于制作完成的成品车轮有着非常严格的审核规则。其内容是用圆规来测量轮子是否正圆；用矩尺来测量轮圆和车轮是否垂直；用悬绳来测量上下辐是否对正；用水来测量浮沉的深浅是否平均；用衡测量两轮之毂的腔膛的容积是否相等。若两轮达到中规、中矩、中绳、浮沉深浅同、容量同、轻重同，该工匠就可称为国工了，也就相当于现在的高级技工师。

轭引式系驾法

系驾法，就是套牲畜驾车的方法。我国先秦时代采用“轭引式系驾法”，就是在两轭的内侧上各系一条引绳，再与辔合在一起，连接到车轴上。拉车时，牲畜以肩胛两侧受力。这在古代形成了我国特有的系驾方式。而同时期西方的系驾法则是颈带式系驾法，使拉车的马的气管受压迫，马力难以充分发挥。中国的这一轭引式系驾法，从考古资料看可上溯到西周或更早的商代，而公元3世纪末意大利的驿车还是用颈带式系驾法。图中是这一系驾方式的形象演绎和诠释。







启蒙时代——古典希腊时期的科学

QIMENGSHIDAI—GUDIANXILASHIQIDEKEXUE

中国：

公元前5世纪至公元前3世纪的战国时期，已掌握冶炼生铁的技术。

公元前5世纪至公元前3世纪，《庄子》一书中有“一尺之棰，日取其半，万世不竭”的物质无限可分的观点。

公元前403年，李悝撰《法经》，其中包括了减法、乘法和除法运算。

公元前380年，“行气玉佩铭”出现，上刻有行气铭文。

约公元前379年，《考工记》编成，该书是先秦古籍中重要的科学技术著作。

公元前350年左右，甘德、石申编制了第一个星表，后称“甘石星表”。

公元前350年左右，魏国的石申已认识到日月食是天体之间的相互遮掩现象。

公元前340年，鲁国尸佼在《尸子》中指出：“四方上下曰宇，古往今来曰宙”，这是对宇宙的经典式定义。

公元前330年，宋国惠施提出的“天地一体”，“天与地卑，山与泽平”，是对天圆地方说的否定，而“至大无外”，是关于宇宙无限空间的简明论述。

约公元前311至公元前279年间，燕昭王令水官以浮舟称量大豚体重，这是最早对浮力定律的运用。

公元前4至前3世纪，《周礼·考工记》中，载有世界上最早的合金成分的研究。

公元前3世纪，《禹贡》问世，为中国古代重要地理著作，并记载了中国各地土壤的特征。

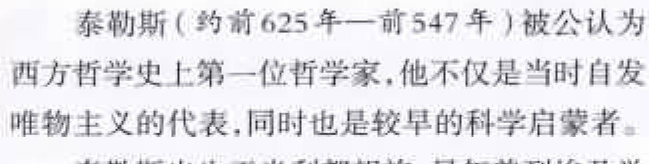
公元前277年至公元前251年，秦国的李冰主持修建都江堰，引岷江水灌溉成都平原，是现在世界上历史最悠久的无坝引水工程。



公元前 7 世纪至公元前 3 世纪是人类历史上第一个轴心时代，这一时期东西方同时诞生了一大批思想家：释迦牟尼、孔子、老子、苏格拉底、柏拉图、亚里士多德等。现代东西方文明的源头几乎同时达到了高峰。从文明古国的传说和猜想中走过的自然科学开始取得空前的成就和繁荣——古希腊科学。与中国古代以实用经验知识为主不同，古希腊人更注重思想理论体系的建立。近代科学的各个学科几乎都能在古希腊科学那里找到其思想的源头。

万物归一——科学之父泰勒斯

Episode Ⅰ



泰勒斯

泰勒斯认为，物质世界最基本的元素是水。他已经观察到水在一定的低温下能变成冰块，在一定的高温下则变成空气，而大陆的所有地块都以水为界。因此，泰勒斯认为，整个地球都是浮在水上的。

泰勒斯（约前625年—前547年）被公认为西方哲学史上第一位哲学家，他不仅是当时自发唯物主义的代表，同时也是较早的科学启蒙者。

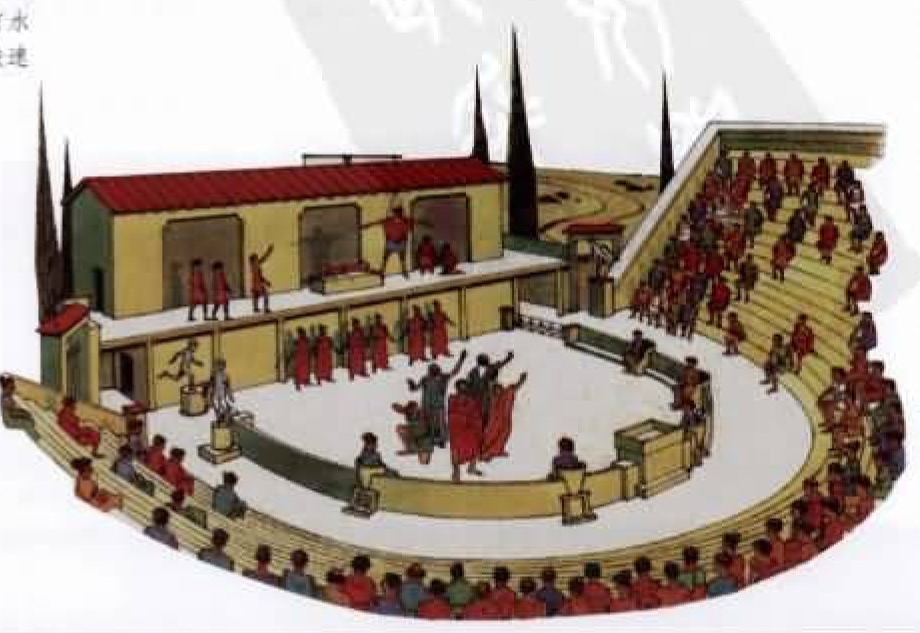
泰勒斯出生于米利都望族，早年曾到埃及学习科学知识，回来之后从事几何、天文、气象等方面的研究，并把研究成果应用于实践。传说他成功地预测了日蚀，用分流的水利工程帮助军队渡河，等等。他以渊博的学识与雅典人梭伦、普林尼人比亚斯、米提林人皮塔库斯、斯巴达人基隆、林都斯人克里奥布卢斯、科林斯人佩里安德等一起被列为当时希腊“七贤”。

泰勒斯在天文学方面做了很多研究：对太阳的直径进行了测量和计算，宣布太阳的直径约



古希腊三列桨船

雅典人的强大海军由三列桨船组成，这种战船由四方帆驱动，共有水手及战士170人，主要战术包括快速划船和撞击敌人的船只。



古希腊剧场

戏剧诞生于雅典，雅典自然会拥有许多供戏剧上演的剧场。最初，剧场只是庆祝酒神的宗教节庆演唱歌和演戏的地方，观众会在观看完戏剧后，为最好的演员和戏剧发奖。后来，戏剧逐渐从宗教活动中独立出来，并产生了如索福克勒斯一样的伟大戏剧家，雅典的剧场也就理所当然地成为专业戏剧上演的专门场所。

为日道的七百二十分之一——这个数字与现在所测得的太阳直径相差很小；通过对日月星辰的观察和研究，他确定了365天为一年，正确解释了日食的起因，并成功地预测了一次日食。

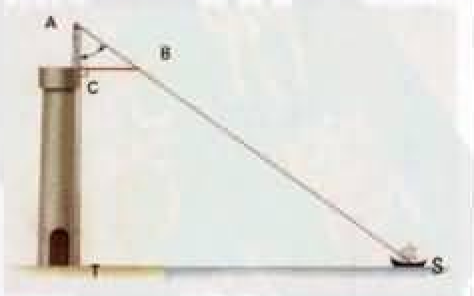
泰勒斯在数学方面划时代的贡献是引入了命题证明的思想——证明命题由此成为希腊几何学的基本精神。它标志着人们对客观事物的认识从经验上升到理论，这在数学史上是一次不寻常的飞跃，其重要意义在于：保证了命题的正确性；揭示了各定理之间的内在联系，使数学构成一个严密的体系，为其进一步发展打下基础；使数学命题具有充分的说服力。泰勒斯也因此成为希腊几何学的先驱，他把埃及的地面几何演变成平面几何学，并发现了许多几何学的基本定理，如"直径平分圆周"、"等腰三角形底角相等"、"两直线相交，其对顶角相等"、"对半圆的圆周角是直角"、"相似三角形对应边成比例"等，并将几何学知识应用到实践当中去，而且用相似三角形原理证明了金字塔的高度。

泰勒斯的哲学观点用一句话来总结就是——"水生万物，万物复归于水"。他认为世界的本原是水，"水是最好的"。泰勒斯向埃及人学习观察洪水，仔细阅读了尼罗河每年涨退的记录。他发现每次洪水退后，不但



泰勒斯预测日食　雕塑

当月球运行到太阳和地球之间，三者在一条直线上，月球挡住太阳光，在地球上某些地方形成阴影，使这个地区不能接受到部分或者全部太阳光，这种现象就叫做日食。在古代科学知识不发达的情况下，日食现象被赋予宗教色彩为宗教利用。图为泰勒斯与他的日食预测。



泰勒斯测量海上船只的距离

泰勒斯在数学上的成就，就是学会了丈量土地的办法以及利用相似三角形原理测量海上船只的距离。图中人的身高ＡＣ已知，量杆长度ＢＣ可从刻度读得，塔的高度ＣＴ可以测得，根据三角形相似原理ＡＣ：ＡＴ＝ＢＣ：ＳＴ，即可求出海上船只的距离ＳＴ。

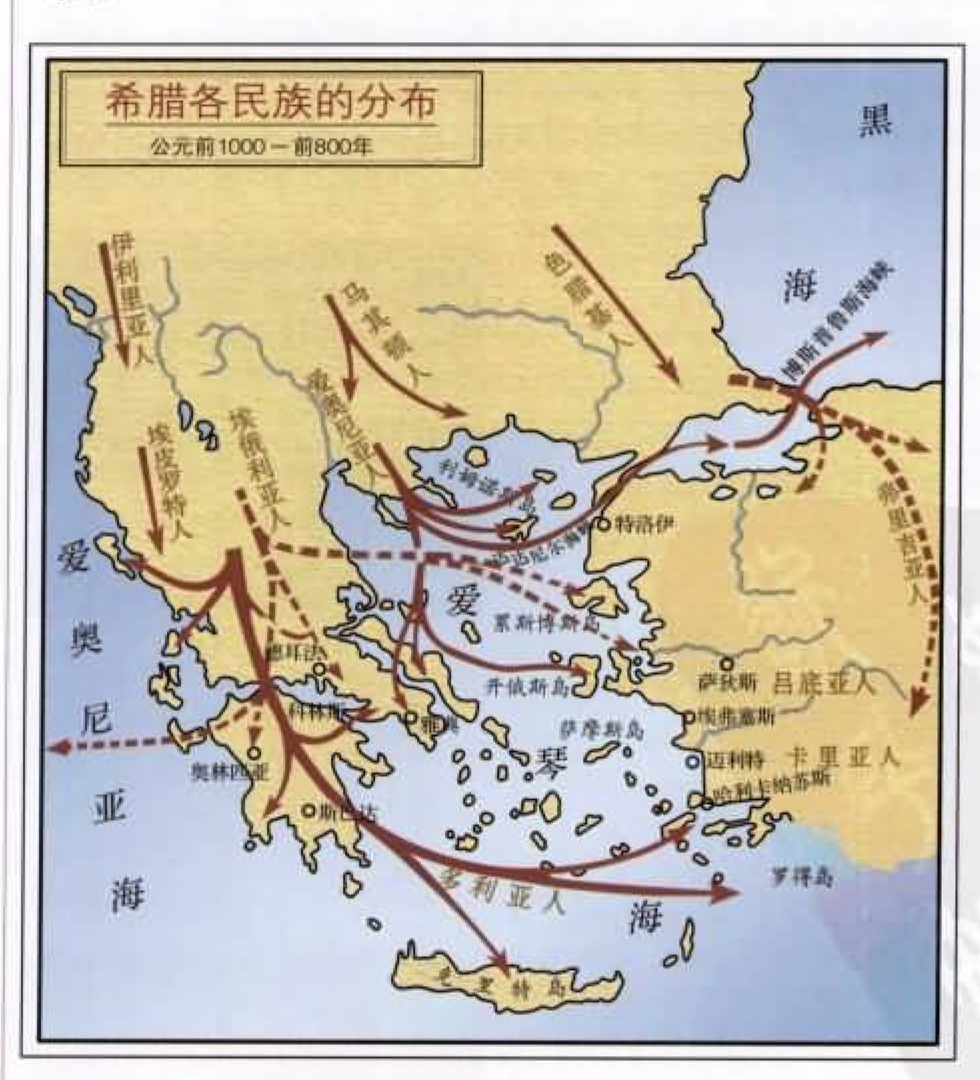


胡夫金字塔

位于埃及首都开罗西南的胡夫金字塔，是埃及现存规模最大的金字塔。塔原高146.5米，因顶端风雨侵蚀剥落，现高136.5米。考古学者在金字塔附近发现劳工墓地等，在其随葬品中发现大量测量、计算和加工石器的工具。相传泰勒斯是第一个准确测出金字塔高度的人。

留下肥沃的淤泥，还在淤泥里留下无数微小的胚芽和幼虫。他把这一现象与埃及人原有的关于神造宇宙的神话结合起来，得出万物由水生成的结论。

泰勒斯关于水是万物本原的思想，是希腊哲学史上的第一个哲学命题，哲学及近代科学思想也由这一命题肇始。这一命题把自然界本身的东西"水"作为万物统一性的基础，从自然本身去说明自然的原因，而不再用超自然的力量来说明自然界，这是人类认识史上的一次飞跃。



爱琴海的希腊世界

爱琴海沿岸的希腊城市众多，其中大多数为通商城市。在公元前10世纪，爱琴海地区的人口增长带来的压力造就了文明倾向的加剧；这种情况导致了一个殖民时代的到来，而希腊文化也在这一时期注入到爱琴海地区的城邦生活。

数的和谐——毕达哥拉斯学派

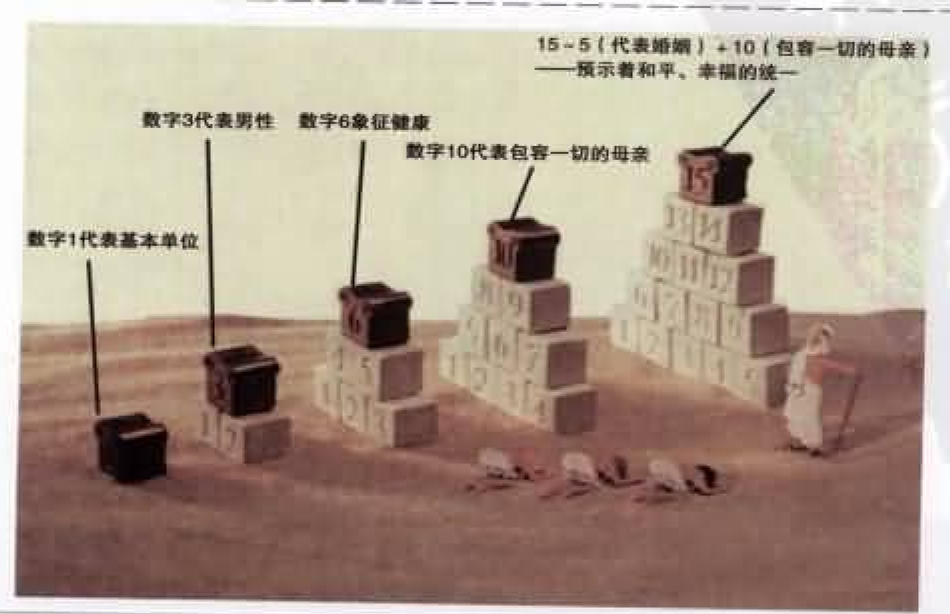
Episode Ⅱ

毕达哥拉斯 4（约前580—前500年），古希腊哲学家、数学家、天文学家。

毕达哥拉斯生于伊奥尼亚海域的萨摩斯岛，青年时可能知道米利都派的学说。40岁时因不堪忍受君主统治而移居意大利南部的城邦克罗顿，在那里组织一个政治、宗教、哲学、数学合一的秘密团体，史称毕达哥拉斯学派。这个组织有男有女，男女成员地位平等，所有成员共同生活，穿同样的衣服，互相帮助，共同学习研究音乐、医学，特别是数学问题。后来，他在与当地势力的政治斗争失败后离开该地。毕达哥拉斯没有著作，他的学说在派别内部以秘密方式传播，从中衍生出一些宗教信条和禁忌。他的弟子分成恪守信条的信条派和从事学术研究的数理派。

毕达哥拉斯 雕塑

公元前580年，毕达哥拉斯出生在米利都附近的萨摩斯岛。此时该城邦在经济、文化等各方面都遥遥领先于希腊本土的各个城邦。这为早年的毕达哥拉斯打开了眼界。公元前551年，毕达哥拉斯来到米利都、特洛斯等地，拜访了泰勒斯、阿那克西曼德和菲尔库德斯，并成为了他们的学生。



毕达哥拉斯的神秘数学

毕达哥拉斯改变了数学的一般面貌。其学派认为，数学是抽象观念而不再是真实事物的科学。数字1代表最基本的单数，而整个宇宙都由此产生。在该学派的数学理念中，除了1之外，2代表女性，3代表男性，4则象征着和谐。



一直持续到公元前5世纪中叶消失。

通过灵魂观而把宗教和哲学结合在一起，这是毕达哥拉斯派的特点。他们的灵魂观来自奥尔斯教派的灵魂转世说。“首先，灵魂是个不朽的东西，它可以转变成别种生物；其次，凡是存在的事物，都要在某种循环里再生，没有什么东西是绝对新的；一切生来具有生命的东西都应该认为是亲属。”根据这种古老的灵魂观，一切生物都有共同的灵魂，灵魂是不朽的，可由一个身体转移到另一个身体，重复已经历的生活；为了不失去灵魂，或死后重新获得灵魂，人需要净化自己的灵魂。毕达哥拉斯派把哲学思辨作为净化灵魂的一种活动，他们认为，“灵魂是一种和谐”。净化灵魂的手段是音乐和哲学，因为音乐是和谐的音调，哲学是对事物间和谐关系的思索。但不论是音乐的和谐，还是事物之间的和谐，都是一种数的规定性，因此，哲学首要的对象是数。

毕达哥拉斯派很重视数学，企图用数来解释一切，宣称数是宇宙万物的本原，研究数学的目的并不在于使用而是为了探索自然的奥秘。他们从五个苹果、五个手指等事物中抽象出了“五”这个数。这在今天看来是很平常的事，但在当时的哲学和实用数学界，算是一个巨大的进步。在实用数学方面，它使得算术成为可能；在哲学方面，这个发现促使人们相信数是构成实物世界的基础。

毕达哥拉斯本人则以发现毕达哥拉斯定理（勾股定理）著称于世：直角三角形斜边平方等于两直角边平方之和。这个定理早已为巴比伦人和中国人所知，不过最早的证明大概要归功于毕达哥拉斯。

毕达哥拉斯对数论作了许多研究，将自然数区分为奇数、偶数、素数、完全数、平方





毕达哥拉斯的贡献

毕达哥拉斯和弟子在几何学上有着重要贡献。他们研究了三角形、四边形以及多边形，发现了三角形内角之和等于180度，甚至还发现了无理数。而活跃于公元前585年至前400年的毕达哥拉斯学派，又因其著名的直角三角形的勾股定理而闻名，其名字至今仍为大家所熟知。

数、三角数和五角数等。在毕达哥拉斯派看来，数为宇宙提供了一个概念模型，数量和形状决定一切自然物体的形式，数不但有量的多寡，而且也具有几何形状。在这个意义上，他们把数理解为自然物体的形式和形象，是一切事物的总根源。因为有了数，才有几何学上的点，有了点才有线面和立体，有了立体才有火、气、水、土这四种元素，从而构成万物，所以数在物之先。自然界的一切现象和规律都是由数决定的，都必须服从"数的和谐"。

毕达哥拉斯还通过说明数和物理现象间的联系，来进一步证明自己的理论。他曾证明用三条弦发出某一个乐音，以及它的第五度音和第八度音时，这三条弦的长度之比为6∶4∶3。他从球形是最完美几何体的观点出发，认为大地是球形的，提出了太阳、月亮和行星做均匀圆运动的思想。他还认为10是最完美的数，所以天上运动的发光体必然有10个。

毕达哥拉斯还认为：地球沿一个球面围绕空间一个固定点处的"中央火"转动，另一侧有一个"对地星"与之平衡。这个"中央火"是宇宙的祭坛，是人永远也看不见的。这10个天体到中央火之间的距离，同音节之间的音程具有同样的比例关系，以保证星球的



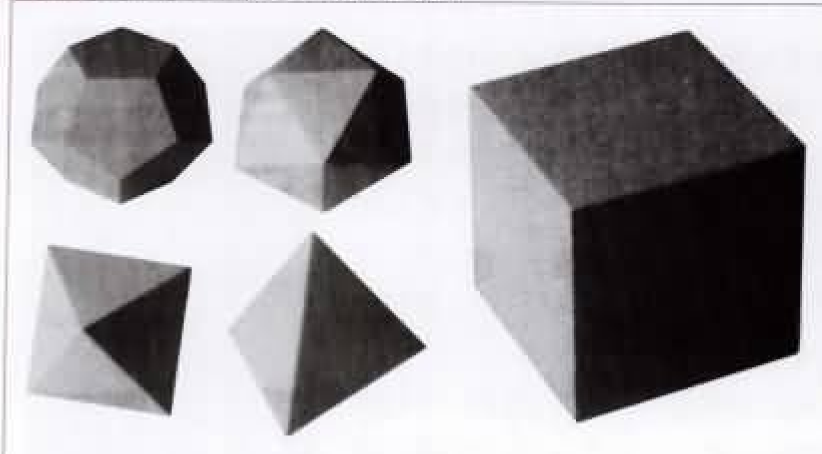
欧几里得的各种译本

欧几里得所处的时代正是数学研究中心由希腊雅典向埃及的亚历山大转移的时候。公元前300年，在托勒密王的邀请下，欧几里得到了亚历山大。经过长时间的研究，《几何原本》得以诞生。图是该书中的直角三角形定理在各种译本中的阐述。



毕达哥拉斯与"和谐论"

毕达哥拉斯因发现三角定理而著名，他将对数的研究与自然界的一切现象和规律结合在一起，并指出它们都是由数决定的。他认为"美"，就在于"数的和谐"。无论人体雕塑还是音乐的旋律，都存在一定的比例关系，如果不遵循这个比例，就会破坏美。



几何图形

数学发展史上最初的里程碑是古希腊数学家欧几里德发现的规则立体。在研究之初，他首先从线和圆的简单特性入手，推论出只有五种正多面体的理论，即四面体、立方体、八面体、十二面体和二十面体。

立方体

毕达哥拉斯学派的人特别为10这一数字着迷，因为它是1、2、3、4的和，而这四个数字也是大自然最基础的组成因素。他们认为，1是无维的点，是所有数的起点；2个点能连成一维线；3个点能画成一个二维的三角形；4个点则能连接成一个三维的四面体。在这样的基础上，他们推导出了立方体。

和谐，从而奏出天体的音乐。

毕达哥拉斯同时任意地把非物质的、抽象的数夸大为宇宙的本原，认为"万物皆数"，"数是万物的本质"，是"存在由之构成的原则"，整个宇宙是数及其关系的和谐的体系。

据说毕达哥拉斯曾断言：数只有两种，整数或两个整数之比（即分数）。但是，一个名叫希帕索斯的学生发现，边长为1的正方形，它的对角线却不能用整数之比来表达。这就触犯了这个学派的信条，毕达哥拉斯的弟子们将希帕索斯抛入大海处死——因为希帕索斯的发现不但与毕达哥拉斯的断言相抵触，也严重动摇了毕达哥拉斯学派关于数的神秘主义的世界观基础。后来，毕达哥拉斯学派成员经过反证法证明，希帕索斯的结论是正确的。这样，毕达哥拉斯学派以一条生命的代价发现了无理数，同时也创造了一种新的证明方法。科学史上把这件事称为"第一次数学危机"。

最伟大的猜想——德谟克利特的原子论

Episode Ⅲ

古希腊瓶

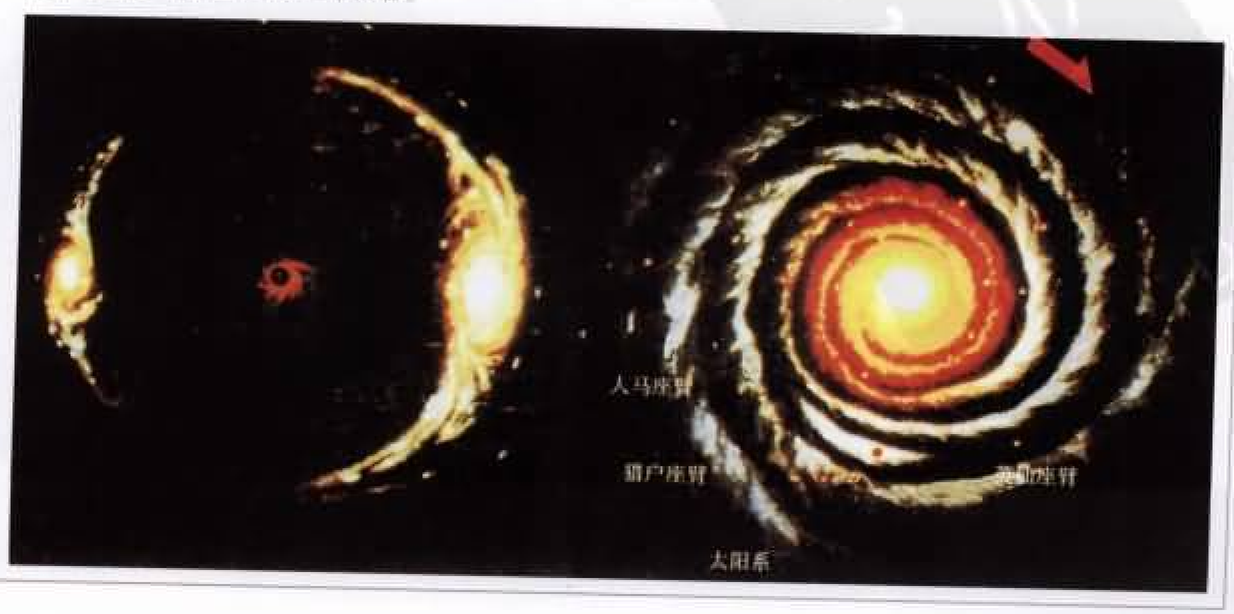
根据德谟克利特的原子论，人们的认识是从事物中流射出来的原子形成的“影像”作用于人们的感官与心灵而产生的。如图中的古希腊瓶，它之所以能被人识别，是因为其本身流射出由原子组成的影像，通过空气撞击人的感官，形成感官印象的结果。

关于世界本原的看法：泰勒斯认为是水，毕达哥拉斯派认为是数，赫拉克利特认为是火，巴门尼德认为是“是者”——和中国的道家看法类似，恩培多克勒认为是土、气、火、水四种元素——和中国的阴阳五行说类似；原子论者认为是原子。

原子论的创始人是古希腊爱奥尼亚学派中的著名学者留基波（约前500—前440年）。他首先提出物质构成的原子学说，认为原子是最小的、不可分割的物质粒子。原子之间存在着虚空，无数原子从古以来就存在于虚空之中，既不能创生，也不

时空弯曲与银河系俯视示意图

从古至今，对宇宙、对微粒的探索一直是哲学家、科学家感兴趣的话题。早在古希腊时期的哲学家就提出了“四元素”说，认为宇宙万物是由水、火、土、气组成；而我们华夏的祖先则提出“五行说”，认为宇宙万物由金、木、水、火、土组成。随着现代科学的发展，人们证实了原子、中子、电子、质子、夸克等的存在，使对宇宙的研究进入了另一个层面。





德谟克利特　油画

从德谟克利特、伊壁鸠鲁、卢克莱修到道尔顿，原子作为宇宙之砖，以其不可分性而最终上升为科学本体论的基石。据考证，德谟克利特的著作不只限于原子论，而是几乎涉及人类知识的一切方面，但传于今世的仅有几百个片段。

能毁灭，它们在无限的虚空中运动，从而构成万物。

丰富和阐明留基波学说的是阿那克萨戈拉的学生德谟克利特。

德谟克利特（约前460—前370年），出生于色斯雷的海滨城市阿布德拉，成人后到埃及、巴比伦、印度等地游历。德谟克利特研究过天文、地质、数学、物理、生物等许多学科，提出了圆锥体、棱锥体、球体等体积的计算方法。他的著作涉及自然哲学、逻辑学、认识论、伦理学、心理学、政治、法律、天文、地理、生物和医学等方面。

德谟克利特继承并发展了留基波的原子学说，指出宇宙空间中除了原子和虚空之外，什么都没有。原子一直存在于宇宙之中，它们不能被创造，也不能被消灭，任何变化都是它们引起的结合和分离。原子在数量上是无限的，在形式上是多样的。在原子的下落运动中，较快和较大地撞击着较慢较小的，产生侧向运动和旋转运动，从而形成万物并发生变化。一切物体的不同，都是由于构成它们的原子在数量、形状和排列上的不同造成的。原子在本质上是相同的，它们没有“内部形态”，它们之间的作用通过碰撞挤压而传递。

根据这样的理论，德谟克利特提出了天体演化学说：在一部分原子由于碰撞等原因形成的一个原始旋涡运动中，较大的原子被赶到旋涡中心，较小的被赶到外围。中心的大原子相互聚集形成球状结合体——地球；较小的水、气、火原子，则在空间产生一种环绕地球的旋转运动。地球外面的原子由于旋转而变得干燥，最后燃烧起来，变成各个天体。

宇宙

德谟克利特是最早期的彻底机械唯物论者。他认为，宇宙的活动就像一台机器的活动一样，是无知觉和有限制的。他甚至还认为，天地宇宙的产生是无数原子引起无目的旋转运动的结果。这种运动使原子结成团块而形成宇宙。

德谟克利特的原子论里没有神存在的空间，他认为原始人在残酷而奇妙的自然现象面前感到恐惧，再加上知识的匮乏，只有臆造出神来解释一切的未知。其实，除了永恒的原子和虚空外，从来就没有不死的神灵。他甚至认为，人的灵魂也是由最活跃、最精微的原子构成的，因此它也是一种物体，原子分离，物体消灭，灵魂也随之消灭。

德谟克利特的原子论后来被伊壁鸠鲁和卢克莱修继承，再后来被道尔顿所发展，从而形成了近代的科学原子论。



原 子 摄影合成 当代

德谟克利特继承古希腊原子论创始人留基波的观点，认为原子是组成物体的不可分割的最小微粒。他还指出，一切事物的始基是原子和虚空，甚至于人的灵魂也是由原子组成的。图中是当代人对原子大小的理解，如果把原子放大到你的手指甲一样大，再按这个比例放大手的话，你的手便可以握住地球了。

希波克拉底誓言

Episode Ⅳ

西方医学之父希波克拉底

古希腊医生希波克拉底从临床出发，创立了四体液理论。他认为，人身上有四种体液，即血液、黑胆汁、黄胆汁和黏液，它们共同维系着人的生命，主导着人体内部机理的平衡。而这一理论也成为了西医学的理论基础。希波克拉底由此被奉为西方医学之父。



西方公认的医学之父是希波克拉底（约前460—前377年）。

这位医学家行游四方，足迹遍及于希腊各地，他广泛地学习各地民间医学，成为古希腊科斯医学学派的卓越代表。希波克拉底及其学派为后世留下了一部字字珠玑的杰出巨著《希波克拉底文集》，共70卷，现存60卷，包括了解剖学、生理学、病理学及各科临床诊断等许多医学方面的知识。

希波克拉底的最大功绩是用实际观察病变过程的方法取代"神赐疾病"谬说，为医学奠定了科学的基础。他认识到任何一种疾病的发生都有其自然的原因，他在"四体液说"理论中认为：组成人体的四种体液——血液、黏液、黄胆汁和黑胆汁——在体内的混合比例是不同的，人也由此而划分为多血质、黏液质、胆汁质和抑郁质四种气

希腊治病之神阿斯克勒比俄斯

希腊早期医学，没有把症状分类成为不同名字的疾病，症状在当时就等同于疾病。更有许多巫医和信神者把疾病看做外在神秘力量对身体的诅咒，而这些被希波克拉底看做对真实本性的无知。图中的雕像描绘了希腊人心中治愈疾病的神阿斯克勒比俄斯，他手上是其标志——蛇杖。

巫医　摄影

这是几个南非的巫医，正在投掷一种专门收集的骨骰和其他一些奇怪的物品，用以预测疾病的未来状况。按照他们的方法，骨骰抛出后的落地位置能对占卜所问的事项提供最神圣而明确的答案。以迷信为医疗手段，也正是希波克拉底所处的时代。









质类型。人体的四种体液调和，人就健康；反之，则会生病。而体液的调和往往是外界因素影响的结果。在疾病的治疗上，他认为必须首先注意病人的气质、特征、生活方式等因素，不能见病不见人，要医治的不仅是疾病，更重要的是病人。他还尤为强调"自然疗法"，主张不要轻易用药而要让身体自行恢复。在治疗中要"预后"，医生应根据病因，预告疾病发展趋势。希波克拉底冲破了当时习俗和宗教的禁令，秘密地进行了人体解剖，获得了许多关于人体结构的知识，为外科学奠定了基础。

希波克拉底对骨折病人提出的治疗方法，后来被证明是合乎科学道理的。为了纪念他，后人将用于牵引和其他矫形操作的臼床称为"希波克拉底臼床"。

难能可贵的是，希波克拉底提出了医务道德问题，并以《誓言》的形式出现。它强调医生的医德及社会责任感，谆谆告诫医生要以救死扶伤为本，决不可用医术牟利。1949年世界医协把它作为国际医务道德规则，直到今天西方许多国家医生开业都根据他的誓词内容举行宣誓仪式。

壁画中的希波克拉底

在拉丁姆阿的尼一所教堂地下室的壁画上，清晰地描绘希波克拉底的容貌。在治病为迷信活动支配的时代，希波克拉底提出医学为独立科学门类的思想，并进行长期公开教学和讨论。他对医学作出的巨大贡献，使其受到人们的尊敬，其形象也被刻画在墙上，永世流传。

狄奥斯科里斯药典

狄奥斯科里斯与希波克拉底为同一时期的医学家，前者撰写了一部插图本药典，详细记录了各种药用植物。图是选自《狄奥斯科里斯药典》的两幅非常精美的插图，分别描绘了水仙花、墨角兰和紫苏。



哲学王的“理想国”——柏拉图学园

Episode Ⅴ

柏拉图 雕塑

柏拉图是古希腊的伟大学者，生于公元前427年。在科学上，他阐明了负数概念；他把天文学和几何学结合起来，为后来建立地心说打下了基础；发展了毕达哥拉斯关于宇宙和谐的思想，指出天体运动的轨道是圆形；他还把宇宙和人体进行类比，推演出关于宇宙性质和结构的见解，也推演出关于人体生理的见解。

苏格拉底是柏拉图的老师，柏拉图的许多理论就是为了阐述苏格拉底的思想。

苏格拉底（前469—前399年），古希腊著名哲学家，第一个把哲学从天上拉回到人间的人。

苏格拉底出生在一个石匠兼雕刻匠家庭，自幼随父学艺，当过兵，曾经三次参战。他自称是没有智慧但爱智慧的人。哲学对于苏格拉底来说不是纯思辨的私事，而是他对城邦所尽的公民义务。在此意义上，他自称是针砭时弊的神圣牛虻。苏格拉底的政治理想是社会正义和国家强盛。大约于公元前399年，苏格拉底因“不敬国家所奉



柏拉图学园 壁画

柏拉图学园在西方开创了学术自由的传统。他鼓励学生独立思考，进行探索、辩驳、争论和批评，反对在老师面前亦步亦趋。在教学上他重视数学，学园门口挂着“不懂几何学者免入”的牌子。当时的很多政治家都向他求取知识，因此学园又被形象地称为“政治训练班”。



聆听苏格拉底最后一堂课

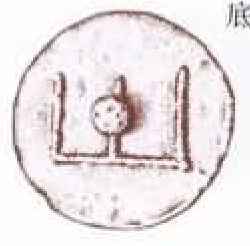
柏拉图深受苏格拉底思想的影响，以致后来他因苏格拉底之死而对政府深感不满。从此，他开始了长达12年的游历生活，每到一处都要向当地的著名学者学习，并与之探讨社会制度形式和深奥的哲学思想。在这一过程中，柏拉图逐渐形成了自己的世界观，在游历回来后，他完成了代表作《理想国》。

的神，并且败坏青年”的罪名被判有罪，后在狱中服毒而死。

苏格拉底所关注的是人的问题——而不是宇宙的问题。他认为，一切皆由神所创造与安排，万事万物皆体现出神的智慧和目的。他提出了“自知自己无知”的命题，强调承认自己无知的人才是聪明人，真正的“知”就是服从神。

“认识你自己”是德尔斐神庙的铭句。苏格拉底以此要求首先研究人自身，通过审视人自身的心灵的途径研究自然。他认为人的心灵内部已经包含着一些与世界本原相符合的原则，主张首先在心灵中寻找这些内在原则，然后再依照这些原则规定外部世界——即要求人们认识自己的内心世界，从“自我”来说明外界事物。

那么，这个内在于心灵的原则是什么呢？苏格拉底说，这个原则就是德性。“德性”指过好生活或做善事的艺术，是一切技艺中最高尚的技艺。他认为这是一种每一个人都能够学会，或可以确定地知道的原则。在此意义上，他把德性等同于知识。“德性就是知识”与“认识你自己”是两条相互呼应的原则：一个人对他自己的认识，就是关于德性的知识。苏格拉底提出“德性就是知识”的主要目的，在于强调知行合一、真善一体的道理。苏格拉底的道德实践就是对“德性就是知识”的最好注释。他宁可承受不正义的惩罚，也不愿做不正义的事。他为“德性就是知识”、“无人自愿做恶”的道理付出了生命的代价。



苏格拉底以他的实践和人格为后世哲学家树立了不朽的榜样。他未留下任何著作，他的思想在与别人的对话中表达，其言行散见于弟子们的著述，他的学生使之名垂青史，这些学生中最著名的当属柏拉图。



投票使用的小铜片

雅典在实行民主政治后，几乎所有公共决策都要经过全民投票，以求得最公正的解决方案。图中的小铜片就是当时人们用于投票的器具。铜片上的小把手或实心、或空心，它取决于投的是无罪票还是有罪票。



柏拉图（约前427—前347年）不仅是古希腊哲学，也是全部西方哲学乃至整个西方文化最伟大的哲学家和思想家之一。

柏拉图师从苏格拉底。苏格拉底遇害后，他在以希腊英雄阿卡德穆命名的运动场附近创立学园，这是西方最早的高等学府，是中世纪时在西方发展起来的大学的前身。他在此著书立说，从事学术研究和讲学。除讲授哲学之外，柏拉图还讲授数学、天文学和声学、植物学等自然科学知识，但以哲学为最高级课程。柏拉图很重视数学，他在学园门口挂着一个牌子——“不懂几何者不得入内”。

柏拉图试图使天文学成为数学的一个部门。他认为宇宙开头是没有区别的一片混沌，这片混沌的开辟是一个超自然的神活动的结果；宇宙由混沌变得秩序井然，其最重要的特征就是造物主为世界制定了一个理性方案；关于这个方案付诸实施的机械过程，则是一种想当然的自然事件。

柏拉图的宇宙观基本上是一种数学的宇宙观。他设想宇宙开头有两种直角三角形：一种是正方形的一半，另一种是等边三角形的一半。从这些三角形中产生出四种正多面体，组成四种元素的微粒。火微粒是正四面体，气微粒是正八面体，水微粒是正二十面体，土微粒是立方体。第五种正多面体是由正五边形形成的十二面体，这是组成天上物质的第五种元素，叫做以太。而整个宇宙则是一个圆球——有一个灵魂充溢全部空间。宇宙的运动是一种环形运动，因为圆周运动是最完善的，不需要手或脚来推动。四大元素中各种元素在宇



柏拉图的数学观

柏拉图的宇宙观实际上是一种数学的宇宙观，他认为天文学与几何学一样，可以通过提出问题和解决问题来研究。就是这种对数形逻辑的偏爱，使他极力宣扬三角形是最有效最稳固的形状。这一理念，在当时颂扬崇高上帝的绘画中得以应用。



哲学家向民众传授雄辩术

在柏拉图的观念里，人的灵魂由理性、意志和欲望三部分组成，它们分别代表着智慧、勇敢和有节制三种品德。正是依据这种品德上的差异，柏拉图将城邦国家的人分为三种：城邦统治者、城邦护卫者和农工商牧。统治者以智慧统治城邦，保卫者以勇敢捍卫城邦，农工商牧者则接受智慧者的统治和教导，从事创造国家财富的职业。

宙内的数量是这样的：火对气的比例等于气对水的比例和水对土的比例。万物都可以用一个数目来定名，这个数目就是表现它们所含元素的比例。

柏拉图把人的本性归结为灵魂，在他看来，人不是灵魂与身体的复合而是利用身体达到一定目的之灵魂。另一方面，他也看到身体对灵魂的反作用，这种作用或者有益于、或者有害于灵魂。《理想国》首次对灵魂做出理性、激情和欲望的三重区分；灵魂包含着人的行为必须服从三个原则：理性控制着思想活动，激情控制着合乎理性的情感，欲望支配着肉体趋乐避苦的倾向。当理性原则支配着灵魂时，灵魂正当地统摄着身体；反之，当欲望原则支配着灵魂时，身体反常地统摄灵魂。不管在哪一种情况之下，起决定作用的总是灵魂自身的原则。

"国家是大写的人"。柏拉图认为，社会正义就是每一个人都只做适合他的本性的事情，这就是，统治者以智慧治理国家，武士以勇敢保卫国家，包括生产者在内的所有成员以节制协调彼此的行为。

"除非哲学家成为这个世界的王，或者我们现在称之为王和统治者的人真正成为哲学家，否则，国家的灾难，人类的灾难将没有尽头。"为了国家和整个人类的利益，政治权力和哲学要被同样人来掌握，"用一个排斥另一个的做法要被有力地禁止"。柏拉图提出"哲学家王"的主张并不是因为当王符合哲学家的兴趣、利益和目标，而是因为哲学家当王符合国家与公众的利益。在此，柏拉图总结了哲学家的使命和工作：哲学家的命运只能是放弃个人思辨的幸福而为公众谋幸福，哲学家为公众谋幸福的途径是启蒙教育。

柏拉图80高寿时无疾而终。柏拉图死后，他所创立的学园由门徒主持，代代相传，继续存在了9个多世纪之久。一直到公元529年，由于它推崇怀疑精神而被罗马帝国封门。

百科全书式的学者——亚里士多德

Episode Ⅵ

亚里士多德　雕塑

亚里士多德是古希腊哲学家、逻辑学家、科学家。他总结了泰勒斯以来古希腊哲学发展的成果，首次将哲学和其他科学区别开来，开创了逻辑学、伦理学、政治学和生物学等学科的独立研究。他的学术思想对西方文化的发展产生了巨大的影响。

亚里士多德（前384—前322年）出生于色雷斯地区的斯塔吉拉城，师从柏拉图20年。柏拉图去世之后，他前往亚索斯开办学园的分校。公元前343年，菲力浦邀请他任王子亚历山大的教师。后来亚历山大即位，亚里士多德不满亚历山大的大希腊化政策以及对自己侄子的处决。公元前335年，他回到雅典，建立吕克昂学园——这是一个与柏拉图学园并立的哲学中心。他习惯在一条名为peripatos的林中小道上，一边散步，一边与学生们讨论哲学问题，因此，人们通常把亚里士多德开创的学派称为"逍遥派"。亚历山大死后，雅典人反马其顿情绪激昂，殃及亚里士多德，他的学说也被指控犯有"不敬神"的罪名。他说，为了不让雅典人再犯"反哲学"的罪，他宁愿离开。他被迫来到爱琴海一个岛屿上，次年病殁。亚里士多德是世界古代史上最伟大的哲学家、科学家和

雅典卫城示意图

图中是希腊时代雅典卫城的复原示意图，在当时它是集古希腊思想、宗教和文化于一体的文明之都，同时，它也代表了亚里士多德所处时代的辉煌文明。亚里士多德在这里吸收了来自柏拉图的知识精华，在游历各国后，他又带着他的作品重返卫城，并建立学园，广收学徒。可以看出，卫城的繁荣和无限魅力使它自身成为了一个知识与财富的宝库。



教育家。他对逻辑学、物理学、生物学、心理学等学科均有开创之功，留存下来了《工具篇》、《形而上学》、《物理学》、《气象学》、《政治学》、《修辞学》、《诗学》等诸多名作。

在天文学方面，亚里士多德认为运行的天体是物质的实体，地是球形的，是宇宙的中心；地球和天体由不同的物质组成，地球上的物质是由水气火土四种元素组成，天体由第五种元素"以太"构成。在物理学方面，他反对原子论，不承认有真空存在；他还认为物体只有在外力推动下才运动，外力停止，运动也就停止。在生物学方面，他对500多种不同的植物动物进行了分类，至少对50多种动物进行了解剖研究，如各种昆虫的变形、鳗的生殖习惯、弓鳍鱼的胚胎发育等。但他相信蛆和昆虫是自然生育的后代，并做了动物分类的尝试，可以说是动物分类学的创始者。在气象学中，亚里士多德解释了一些自然现象，他在观察的基础上建立了一些自然地理的学说。他还认为一切金属都可以相互转变，因为其成分是彼此相近的，这种说法成为后来炼金术的思想渊源之一，而炼金术则是化学的萌芽。



古代的哲学家　插图

此插图出自雷戈尔·赖什所著的《智慧珍宝》。古希腊罗马时期的哲学和科学是没有区分的，很多哲学家既研究数学，也对物理感兴趣。亚里士多德是他们的典型代表。在宇宙事物的构成探索上，他反对老师的"几何"形式分析，以"水、土、火、气"的可感性质来分析宇宙的构成；在政治学、修辞学方面也有很大成就。

亚里士多德的思想对西方文化根本倾向以至内容都产生了深刻的影响，他的著作被译成拉丁文、叙利亚文、阿拉伯文、意大利文、希伯来文、德语和英语。他的思想成为中世纪基督教思想和伊斯兰经院派哲学的支柱。

亚里士多德堪称希腊哲学的集大成者，建立了希腊科学最全面的体系；显示了希腊科学的一个转折点。在他以前，科学家和哲学家都力求提出一个完整的世界体系，来解释自然现象；他是最后一个提出完整世界体系的人。在他以后，许多科学家放弃提出完整体系的企图，转入研究具体问题。



希腊化罗马时期的科学技术

XILAHUALUOMASHIQIDEKEXUEJISHU

中国：

秦置三公九卿，太史掌天文、历法兼记事修史；太医掌医学。并在全国颁行以十月为岁首的《颛顼历》，以12建除注历，形成十二生肖纪年系统。

公元前3世纪，秦始皇令方士献仙人不死之药，炼丹术开始萌芽。

公元前3世纪至公元前1世纪，《九章算术》最终编定，该书奠定了中国传统数学领先世界数坛1500年的基础，标志着世界数学研究的中心从古希腊转移至中华大地。

公元前3世纪末，河南省西平县酒店乡出现中国最早的冶炼生铁的竖炉之一。

公元前2世纪，西汉司马迁所著《史记》中《天官书》一篇是最早详细记载天象的著作。

公元前2世纪，中国汉朝采用农事二十四节气。

公元前2世纪，刘安召集宾客方士著《淮南万毕术》中记载有“白青(即硫酸铜)得铁则化为铜”，这是金属置换反应的早期发现。

西汉初期，中国炼丹家开始炼制砷黄铜，称其为“药金”。

公元前186年，记载经络学说的《脉书》，描述导引的《引书》出现。

公元前177年，汉文帝因日食而下罪己诏，首开帝王因天象异常而罪己行善之先例。

公元前175年，中国最早的铁钱——四铢钱（半两钱）开始使用。

公元前167年前，淳于意辑成《诊籍》，这是中国现存最早的医案。

公元前152年，汉景帝崩，其陵有罗盘石，上有阴刻十字经纬线，正指磁北方向，为世界上较早的测量标石。

公元前133年，李少君首创以丹砂化为黄金，而以黄金为饮食器的长生设想，此为中国炼丹术的最早记载。



公元前121年，方士栾大发现磁石的彼此排斥现象。

公元前104年，汉武帝用邓平、落下闳所修八十一分律历，名为《太初历》，取代《颛顼历》颁行天下。

公元前104年，武帝建建章宫，其南玉堂璧屋装有测风仪——铜凤凰，为较早的风向器。

约公元前100年前后，《周髀算经》成书。

公元前1世纪，西汉出现用含锌矿石炼制铜合金。

公元前1世纪，西汉落下闳发明浑仪，用以测量天体的赤道坐标。

公元前1世纪，许商撰《许商算术》26卷，是推演《九章算术》的著作。

约公元前89年，赵过在关中地区推行代田法。

公元前69至公元前61年，今陕西神水建成"火井"——天然气井，这是最早开凿创建的天然气井。

公元前43年，《汉书·五行志》载："日黑如仄，大如弹丸"，为太阳黑子较早可靠的记载。

公元前31年，西汉时创用平向水轮，通过滑轮和皮带推动风箱，用于炼铁炉的鼓风。

公元363年，罗马帝国使者经西域抵东晋建康，晋遣使回访，此为中国和罗马通使之始。

希腊：

公元前3世纪，欧几里得《几何学原本》13卷发表，把以前有的和他本人的发现系统化，成为古希腊数学的代表作。

公元前3世纪，阿基米德实验发现斜面、杠杆、滑轮的规律以及浮力原理，奠定了静力学的基础。

公元前3世纪，埃拉托色尼第一次用天文观测推算地球的大小。

公元前3世纪，亚里斯塔克第一次测算太阳和月球对地球距离的比例，提出太阳是宇宙中心和地球绕太阳运转的观点。

100年左右，古希腊的尼寇马克写了《算术引论》一书，此后算术开始成为独立学科。

公元2世纪，托勒密编制成当时较完备的星表，并首先发现大气折射星光现象。托勒密的《至大论》中用本轮和均轮的复杂系统，详细阐述了"地球中心说"。

公元3世纪时，丢番图写成代数著作《算术》共13卷，其中6卷保留至今，解出了许多定和不定方程式。

"希腊化时代"系指亚历山大东征时期，地中海东部的历史和文化特色。希腊化并不是一种单一的文化，而是希腊文化和古埃及、巴比伦、古印度及其他东方文化的融合，是世界五大文明发祥地的首次沟通。这一时期，科学技术有了显著进步，一些自然科学学科开始与哲学学科逐步分离，新的学科逐渐开始独立地探索，对后来西方的自然科学发展有深远影响。

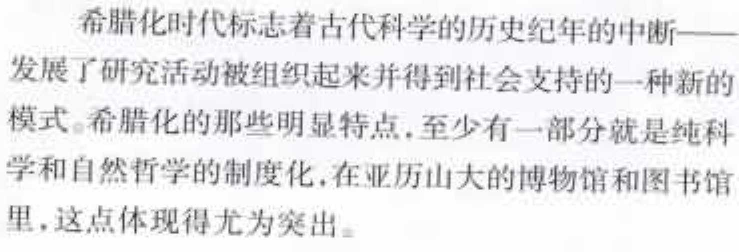


智慧之都——亚历山大图书馆

Episode 1

亚历山大大帝　壁画

古代世界最著名的征服者。亚历山大图书馆便是由他下令建造。在他去世后，图书馆依然不断被后人壮大，成为人类早期历史上最伟大的图书馆。



希腊化时代标志着古代科学的历史纪年的中断——发展了研究活动被组织起来并得到社会支持的一种新的模式。希腊化的那些明显特点，至少有一部分就是纯科学和自然哲学的制度化，在亚历山大的博物馆和图书馆里，这点体现得尤为突出。

亚历山大城地处东西方文化的交汇点，是尼罗河三角洲地中海海岸的一个港口。希腊化埃及的第一位国王托勒密·索特尔开创了王室支持科学和学问的传统，之后亚历山大图书馆存在了700年，一直维持到公元5世纪。

实际上，亚历山大图书馆的前身是一所博物馆，只供奉神话中的9位文化女神缪斯，博物馆的人员享受俸禄，完全靠国家提供经费从事他们自己的研究。埃及托勒密王朝的国王们和他们的继任者都曾在王宫内为博物



以弗所城图书馆遗址

第一个使学习过程正规化的时代是古代的美索不达米亚。当时的教育由神职人员管理，其目的在于培养文书和神职人员。文书们后来成为了抄写员、图书管理员以及教师，而学习也同时被看作最重要的职业。学习在备受重视的情况下，其地点被设定在了图书馆里，内容包括抄写文稿、背诵和重述所学知识。图为古希腊以弗所城的塞尔苏斯图书馆遗址。这座建于12世纪的图书馆，也是当时学习的重要场所和知识宝库。



馆及其工作人员单独辟出好几处豪华建筑，其中有不少工作室、讲演厅、解剖室，还有一个动物园和一个天文台，以及其他研究设施。托勒密王朝的国王们另建起一座壮观的图书馆，为此而采取一切手段搜集图书——下令搜查每一艘进入亚历山大港口的船只，只要发现图书，不论国籍，马上归入亚历山大图书馆。有一传说，当时古希腊三大悲剧作家欧里庇得斯、埃斯库罗斯和索福克勒斯的手稿原本收藏在雅典档案馆内。托勒密三世得知此事后设了一计，以制造副本为由先用一笔押金说服雅典破例出借，但最后归还给希腊的实际上是复制件，而真迹原件却被送往亚历山大图书馆了。

通过各种正当或不正当的手段，亚历山大图书馆迅速成为人类早期历史上最伟大的图书馆：拥有公元前9世纪古希腊著名诗人荷马的全部诗稿，并首次在图书馆复制和译成拉丁文；藏有包括《几何原本》在内的古希腊数学家欧几里得的许多真迹原件；早在公元前270年就提出了太阳和地球理论的古希腊天文学家阿里斯塔克的关于日心说的理论著作；古希腊三大悲剧作家的手稿真迹；古希腊医师、有西方医学奠基人之称的希波克拉底的许多著述手稿；第一本希腊文《圣经》旧约摩西五经的译稿；对医学也有贡献的古希腊哲学家科学家亚里士多德和学者阿基米德等均

特洛伊战争

希腊的文学开始于荷马的两部史诗——《伊利亚特》和《奥德赛》。前者叙述了希腊人围攻特洛伊的过程，而后者则讲述了希腊英雄尤利西斯返乡的经历。在古希腊文学和艺术作品中，我们都能见到很多关于特洛伊战争的描述。从图中的花瓶画上，可看到阿喀琉斯在为战士包扎伤口的情景。





米利都城

公元前7世纪至前6世纪，引起人类思想史上革命的早期希腊思想家们，几乎都生活在爱奥尼亚的米利都城。当时，重要的学术活动就在该城举行。基于米利都的富裕，思想家都在优越的生活环境中进行着悠闲的思考。图是米利都遗址，无数人类早期的伟大思想就在这里产生和发展。





荷马史诗

荷马史诗是许多民间行吟歌手的集体口头创作。史诗包括了迈锡尼文明以来多少世纪的口头传说，这些传说历经几个世纪、经过不断的增益和修改，到了荷马手里被删定为两大部分，成为定型作品。而我们今天所看到的“荷马史诗”，是公元前3世纪至前2世纪由亚历山大里亚的学者们编订过的作品。

有著作手迹留此。此外，当时古埃及人及托勒密时期许多的哲学、诗歌、文学、医学、宗教、伦理和其他科学均有大批著述收藏于此。

另外，由于四方学者纷纷云集此地，古希腊地理学家、天文学家、数学家和诗人埃拉托色尼，古希腊文献学家亚里斯塔克等不少历史名人都曾出任过亚历山大图书馆的馆长。而诸如哲学家埃奈西德穆，数学家、物理学家阿基米德等睿智圣贤也均在此或讲学，或求学，使图书馆享有“世界上最好的学校”的美名。

支持学问研究的这种希腊化模式并不仅限于亚历山大一处，当时的许多城市都曾大肆兴建博物馆和图书馆。在帕加马就有一座很大的图书馆——该城足以同亚历山大相匹敌，也是国家支持科学和学问发展的一个中心。至于雅典，柏拉图学园和亚里士多德的吕克昂学园也显示了这样的倾向，两个学派都接受了希腊化的影响，而且是一直靠学者们自己维持学派和团体。到公元前2世纪，罗马皇帝安东尼和马可·奥勒留按照亚历山大的做法，在雅典和其他地方大封帝国教席称号，柏拉图学园和吕克昂学园正式制度化的特点又得到加强。

《几何原本》——“几何无王者之道”

Episode II

《几何原本》中文译本 清代

罗素说：“欧几里得的《几何原本》毫无疑问是古往今来最伟大的著作之一，是希腊理智最完美的纪念碑之一。”它不仅是一本数学教科书，更重要的是，它还将公元前7世纪以来古希腊的丰富几何学知识进行了严密的整理，使几何学成为一门独立的科学。《几何原本》是用希腊文写成，后被翻译为多种文字，图中就是清朝的中文译本。

欧几里得（约前330—前260年）是古代希腊最负盛名、最有影响的数学家之一。相传托勒密王（前364—前283年）曾经问欧几里得，除了他的《几何原本》之外，还有没有其他学习几何的捷径？欧几里得回答说：“在几何里，没有专为国王铺设的大道。”这句话后来被加以引申，发展成为“求知无坦途”这一传诵千古的学习箴言。

欧几里得的贡献主要在于他将公元前7世纪以来希腊几何学积累起来的丰富成果整理在严密的逻辑系统之中，使几何学成为一门独立的、演绎的科学。除《几何原本》外，欧几里得还有不少著作，可惜大都失传；《已知数》是除《几何原本》之外唯一保存下来的用希腊文写就的纯粹几何学著作，体例和《几何原本》



《几何原本》原文

《几何原本》中的证明示意图

欧几里得在其《几何原本》中，运用公理法对当时的数学知识进行了系统化和理论化总结。在该书中，他总结并推广了毕达哥拉斯学派的几何成就，以及欧多克斯的比例理论和此前的立体几何知识，完整地展现了古希腊数学的思想精髓和典型意义。此图是《几何原本》中对毕达哥拉斯定理证明的示意图。

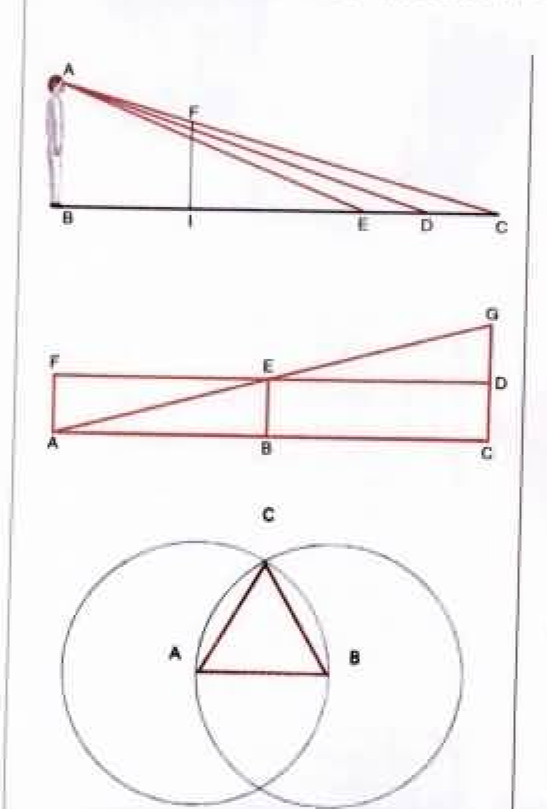




前6卷相近，包括94个命题，指出若图形中某些元素已知，则另外一些元素也可以确定。《图形的分割》现存拉丁文本与阿拉伯文本，论述用直线将已知图形分为相等的部分或成比例的部分。《光学》是早期几何光学著作之一，研究透视问题，叙述光的入射角等于反射角，认为视觉是眼睛发出光线到达物体的结果。还有一些著作未能确定是否属于欧几里得，而且已经散失。

在《几何原本》里，欧几里得利用很少的自明公理、定义，推演出400余个命题，成为人类理性的丰碑。他坚信物质、宇宙、空间、人的精神间存在着一种超然于一切的形式美感；他设定"点、线、面、角"为一切存在的始基，因为没有空间之物是不存在的。万物的根本关系，是数量关系；找到这些数量关系，就找到了现实世界通往神的道路——神就是数神。神是按照数理设计这个世界的。

《几何原本》近于完美，刚一问世就取代了所有先前的教科书。从它诞生时起，2000余年以来《几何原本》一直被视为人类锻炼和培养逻辑理性、逻辑思维的最杰出甚至唯一的课本，其影响远远超过了亚里士多德的任何一篇逻辑论文。它是严谨的逻辑推理体系的杰作，对任何伟大的思想家都具有巨大的魔力。艾萨克·牛顿受其影响尤为突出——《原理》就是用《几何原本》相类似的形式写成的。



欧几里得的透视理论　示意图

该图形象地解释了欧几里得的透视理论。在图中，A点代表观察者的眼睛，E、D、C点则与观察者的眼睛由近及远。在欧几里得的透视理论中，E、D、C点在视觉中形成的不同高度，与它们在视圆锥中占据的位置不同有关。而这一理论从它们与眼睛的连线穿过平面G的位置就可清楚地看出。

数学应用于物理　示意图

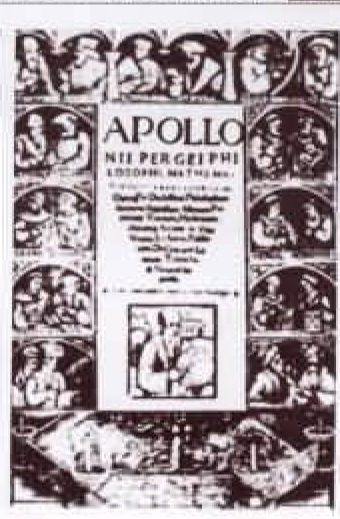
在数学的不断发展过程中，到了中世纪，如奥里斯姆一样的科学家便将其与物理学相融合。他认为，任何几何学的形式都能更清楚地表现运动。图中解释的是奥里斯姆用几何学形式给出的平均速度法则原理。在该图中，ACG为匀加速运动，BE为平均速度，ACDF为匀速运动。

等边三角形作图过程　示意图

欧几里得证明，一个三角形如果采用合乎逻辑的方式作图，它就能成为真正等边的。图中为我们展示了等边三角形的这一作图过程，即先画一任意长度AB，以A和B为圆心，AB为半径画两个圆。又将圆的交点C分别与AB连线，由此可推断出，该三角形三边均为半径，所以相等。


Preclarissimus liber elementorum Euclidis perspi/
cacissimi: in artem Geometrie incipit quã foelicissime:





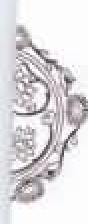
《几何原本》是现代科学崛起的一个重要因素；科学不只是准确的观察和精辟概括的集合，现代科学的伟大成就一部分是经验论和实验法相结合的产物，另一部分是认真分析和逻辑演绎相结合的产物。从几个基本物理学定律可以推导出任何其他定律，西方人认为这种思想是天经地义的，因为在他们面前有欧几里得这样的权威。一般说来西方人并未把欧几里得几何学仅仅看做是一个抽象的体系，而是认为欧几里得公理和定律真实地反映了客观世界：欧几里得几何学在大多数情况下都能非常逼真地反映客观现实。

《几何原本》的第一个印刷本书影

欧几里得的《几何原本》在当时的抄本早已失传，现在的各种版本都是根据后人的修订和注释重新整理出来的。现存最早的拉丁文本是根据中世纪阿拉伯文字翻译的。1255年，意大利学者坎帕努斯综合参考了各种《几何原本》文本，并于1482年在威尼斯正式刊印发行，该图就是《几何原本》的第一个印刷本书影。

《圆锥曲线论》书影

《圆锥曲线论》可说是古希腊演绎几何的最高成就。在书中，其作者——著名希腊数学家阿波罗尼奥斯，仅用纯几何手段就得到了解析几何的主要结论，着实令人惊讶。但通过这一手段来解决复杂命题，也为叙述和证明带来麻烦，而使最终的解析过程变得晦涩难懂，从而导致其后数千年几何学发展停滞不前。图为该书书影。

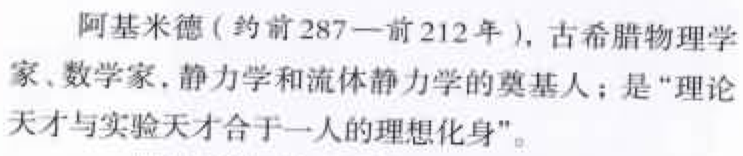


能撬动地球的人——阿基米德

Episode III

阿基米德

阿基米德第一次把数学应用到物理，创造了力学的科学。这位伟大的物理学家以他最先阐释的几个基本定律而闻名，即液体置换原理、杠杆理论以及球表面积的问题。作为一个物理学家，其思想都用精确的数学形式表达出来，这是他区别于其他人的最大不同。



阿基米德（约前287—前212年），古希腊物理学家、数学家，静力学和流体静力学的奠基人；是“理论天才与实验天才合于一人的理想化身”。

阿基米德对物理学的贡献主要是在力学上。他把实验的研究方法和几何学的演绎方法很好地结合起来，使力学科学化，既有定性分析，又有定量计算。从物体重心的观点出发，他对杠杆的平衡条件做了数学的证明，并确定了三角形、平行四边形、梯形、抛物线弓形等平面图形的重心，写出了《论平面的平衡》的科学著作。他证明了现今被广泛应用的重量比等于距离反比的杠杆定律，这个定律是一

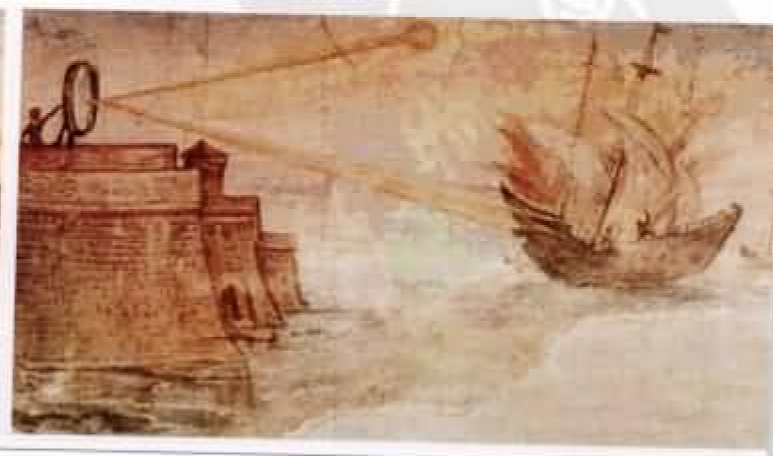
巨大的机械手

公元前212年，罗马开始攻打锡腊库扎。当罗马战船包围锡腊库扎城时，无数个由阿基米德设计的巨型机械手臂突然从城墙中伸出，抓住了罗马战船，将其全部掀翻。罗马军队为此死伤无数，最终不得不放弃进攻。

抛物镜的聚光作用

在无数次击退罗马的进攻中，阿基米德也一次次显示出他的超人智慧。他曾利用抛物镜面的聚光作用，使太阳光线汇聚到罗马战船的帆布上，使大量战船瞬间被大火烧成灰烬，从而达到不攻自破的效果。图中描绘的是反射的太阳光使罗马战船燃烧的壮观场面。





切机械设计的基础。他曾发出了一个无与伦比的豪言："给我一个支点，我就能撬动整个地球。"阿基米德也为人类提供了流体静力学的基本原理，即"阿基米德定律"的浮力定律——"浸在液体里的物体，其所减少的重量，等于同体积的该液体的重量"。今天潜水艇的沉浮、航空中的气球和飞艇的浮力等都是以阿基米德的原理为依据的。自此，水力学作为一门学科真正建立了起来。阿基米德对科学技术、生产实践的发展有着重大的意义，他也由此获得了"力学之父"的美称。

阿基米德确定了抛物线弓形、螺线、圆形的面积以及椭球体、抛物面体等各种复杂几何体的表面积和体积的计算方法。在推演这些公式的过程中，他创立了"穷竭法"，即今天所说的逐步近似求极限的方法——他因此而被公认为微积分计算的鼻祖。他用圆内接多边形与外切多边形边数增多、面积逐渐接近的方法，比较精确地求出了圆周率。面对古希腊繁冗的数字表示方式，阿基米德还首创了计大数的方法，突破了当时用希腊字母计数不能超过1万的局限，并用它解决了许多数学难题。

阿基米德在天文学方面也有出色成就。他认为地球是球状的，并围绕着太阳旋转，这一观点比哥白尼的"日心地动说"要早1800年。

阿基米德螺旋升水泵原理　示意图

据说，阿基米德发明这一升水泵是为了将水从大船的船舱中排出去。这种水泵的原理，是由一根倾斜的螺旋形管子将水从底部抽上来。直到今天，我们所使用的各种水泵仍然运用这一原理。

人体的平衡状态　素描

阿基米德系统分析研究了杠杆原理和物体的重心问题，并发现了寻找物体重心的方法。他提出，只要把物体从重心支起来，物体就能保持平衡。此图取自达·芬奇论述绘画的论文。图中人体的平衡条件验证了阿基米德的理论。












阿基米德之死　壁画

图中，罗马士兵正催促着正在进行思考的阿基米德离开。在接下来的争执中，罗马士兵的利剑竟鲁莽地穿过这一伟大科学家的身体。后人遵照阿基米德的遗愿，在其墓碑上刻下了一个内切于圆柱的球，以纪念他最引以自豪的著作《论球和圆柱》。

阿基米德把其理论应用于实践，不仅使数学、力学等学科得到发展，而且还推动了工程技术的进步。他既是一名伟大的科学家，又是一名杰出的发明家。他发明和创造了杠杆、滑轮和螺旋等机械，制造过抽水机、投火机，还利用过光学的聚焦原理引燃了入侵的罗马战舰。在埃及，被称做"阿基米德螺旋"的扬水机至今仍在使用。

公元前212年，阿基米德被破城的罗马士兵斩杀于他在叙拉古的研究室中。

地球测量师——埃拉托色尼

Episode IV

埃拉托色尼(前275—前193年),出生于北非的昔勒尼,是一位成就非常卓著的学者,被西方地理学家推崇为"地理学之父",也被称为"柏拉图第二"。

他曾到雅典钻研哲学,后一度出任亚历山大里亚图书馆馆长。埃拉托色尼在哲学、文学、数学、史学方面均有精深造诣,用经纬网绘制地图,第一个创用了西文"地理学"词汇,最早把物理学的原理与数学方法相结合,创立了数理地理学;但他开创的最大学科则是地理学。

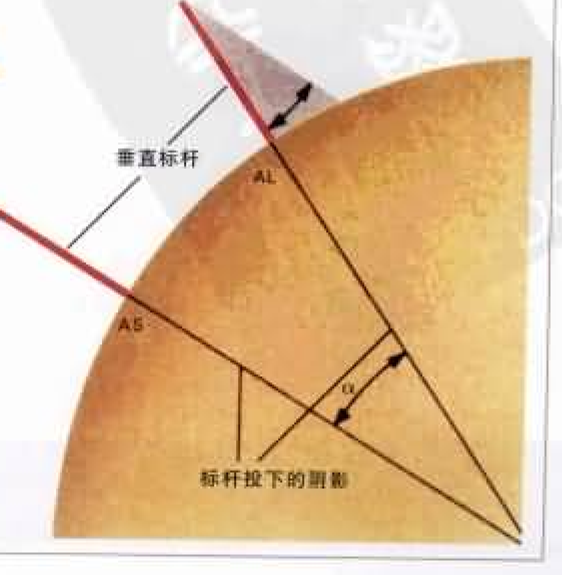
埃拉托色尼在地理学方面的杰出贡献,集中地反映在他的两部代表著作中:《地球大小的修正》和《地理学概论》。前者论述了地球的形状,并以地球圆周计算而著名;后者是对有人居住的世界部分的地图及其描述。埃拉托色尼以精确的测量为依据,将得到的所有天文学和测地学的成果尽量结合起来,因而他所编绘的世界地图成为其后一切古代地图的基础。

关于地球圆周的计算是《地球大小的修正》一书的精华部分。埃拉托

埃拉托色尼和助手　油画

埃拉托色尼根据当时对地球情况的了解,在吸收前人经验的基础上,写了《地理学》一书。在此书中他把世界划分为:2个寒带、2个温带和1个热带。除此之外,其最大的贡献主要是设计出经纬度系统,并根据经纬网绘制过世界地图。





地球的圆周计算　示意图

此图为埃拉托色尼对地球圆周计算的演示图。图中的AL是亚历山大城,AS是阿斯旺,而两地间的距离是500英里。α处角为7度,即7/360或1/51。从图中得知,亚历山大城和阿斯旺之间的500英里的弧是地球周长的7/360,所以整个地球的周长则是25000英里。











色尼天才地将天文学与测地学结合起来，第一次提出设想在夏至日那天，分别在两地同时观察太阳的位置，并根据地物阴影的长度之差异，加以研究分析，从而总结出计算地球圆周的科学方法。埃拉托色尼选择同一子午线上的两地西恩纳（今天的阿斯旺）和亚历山大城，在夏至日那天进行太阳位置观察的比较。在西恩纳附近，尼罗河的一个河心岛洲上，有一口深井，夏至日那天太阳光可直射井底。这一现象闻名已久，它表明太阳在夏至日正好位于天顶。与此同时，埃拉托色尼在亚历山大城选择一个很高的方尖塔作为日晷，并测量了夏至日那天塔的阴影长度，这样就可以量出直立的方尖塔和太阳光射线之间的角度。获得了这些数据之后，他运用泰勒斯的数学定律，即一条射线穿过两条平行线时，它们的对角相等，得到了这一角度为7° 12′，即相当于圆周角360°的1/50。由此表明，这一角度对应的弧长，即从西恩纳到亚历山大城的距离，应相当于地球周长的1/50。下一步埃拉托色尼测量得到这两个城市的距离是5000希腊里，一旦得到这个结果，地球周长只要乘以50即可，结果为25万希腊里。为了符合传统的圆周为60等分制，埃

希腊科学划分的世界气候带

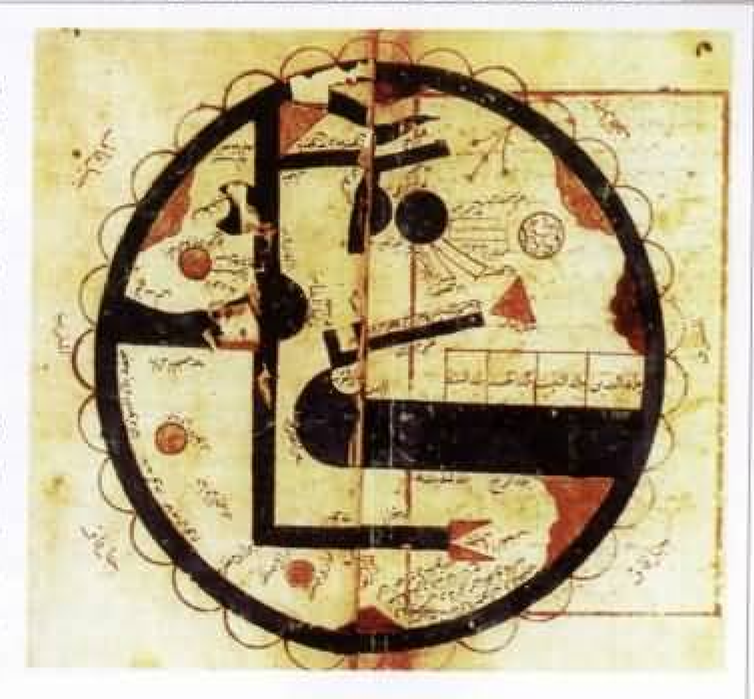
公元前150年，希腊科学家已绘制出划分有世界气候带和大陆板块的地球仪。在图中这个由后人仿造制作的希腊时期地球仪上，我们看到四块平衡的陆地以及当时所划分的气候带，而这些大陆板块还被中心子午线和热带分开。

上帝的设计

在这幅中世纪的画中，上帝被比喻为一个设计宇宙的几何学家。它向人们展示了中世纪的某些理念，如宇宙一定由数学法则和协调的比例所建构。但在当时，这一思想遭到了来自教会的猛烈抨击，因为这明显暗示了自然界能够不依靠上帝的指引就能持续运行。

托勒密观测月球

在埃拉托色尼之后，罗马时代的托勒密也成功地总结了古典的地理学知识。正如埃拉托色尼所做的那样，托勒密通过认识地球是一个360度的球体和测量它的某些部分来进行地理研究。他还搜集早期地理学和旅游著作中的8000个地名，以拓展当时的未知世界，而这一地区就覆盖了从英国到中国西部，从斯堪的纳维亚南部到赤道非洲。图中的托勒密正用象限仪观测月亮的高度。



伊斯兰地理学

除了希腊科学家以外，伊斯兰思想家也对地理学和地图有着一种浓厚的兴趣。公元9世纪时，伊斯兰地区也出现了配有文字的地图。但这些地图只有大致轮廓，与实际地理位置关联不大，未使用地理坐标，而且还不包括欧洲和亚洲的非伊斯兰地区。此图就是当时的一幅世界地图，它同样也存在着上面所提到的缺陷。

拉托色尼将这一数值提高到252000希腊里，以便可被60除尽。埃及的1希腊里约为157．5米，换算为现代的公制，地球圆周长约为39375公里，经埃拉托色尼修订后为39360公里，与地球实际周长引人注目地相近。这一测量结果出现在二千多年前，是载入地理学史册的重大成果。

埃拉托色尼在其撰写的《地理学概论》一书中，第一次使用了"地理学"这个名词，并描述了地球的形状——在哥伦布1700余年前就形成了地圆说。他相信，地球上的海洋实际只有一个，如果一直向西航行就可以到达东方，只是当时无人实践其学说而已。《地理学概论》建立起了普通地理学的完备体系，比较科学地论述了自然地理现象。埃拉托色尼准确地把地球划分为5个地带：围绕南北极的2个寒带、在寒带和南北回归线之间的2个温带及围绕赤道的热带。由于时代的局限，虽然他对亚洲、非洲广大地区知之甚少，也完全不知道美洲，但他都按已知各地大致距离及纬度高低绘制了古代世界比较完备的地图。

同时，埃拉托色尼还是一位出色的数学家，他创造了素数表，从此素数成为数学研究的课题。他以赫尔墨斯神话为基础，写了有着天文学意味的诗篇《赫尔墨斯》。在哲学上曾写过一部《哲学史》。他还从事过年代学的研究，曾把特洛伊战争以来政治和文学上的大事日期固定下来，另有12册的《喜剧史》。只可惜他的著作几无所存，现仅能从后人的引述中知其片断。



天才的思想——日心说先驱阿里斯塔克

Episode V

中世纪的宇宙观

在基督教的西方，天堂不仅是一个实在的地方，更是一个精神的家园，是上帝和天使居住的地方。因此，天文学与宗教和哲学的关系就比与其他科学要密切得多。在中世纪的宇宙观中，上帝和天使在宇宙最高的天球上操纵着恒星与行星的运动，而地球则位于宇宙体系的中心，静止不动。

阿里斯塔克（约前310—前230年）是古希腊的萨摩斯岛人，后到亚历山大的缪斯神宫工作。阿里斯塔克的大部分著作今已失传，仅存《论太阳与月球之大小和其距离》一文；只能从后人的转述中知其大概。

阿里斯塔克对天文学的最大贡献是提出了太阳中心说，比后来的哥白尼早了1 000年。阿里斯塔克认为，太阳和恒星都是不动的，而地球和行星则以太阳为中心做圆周运动。地球每年绕太阳公转一周，同时又每日自转一周，所以才产生天体每天每年的变化。虽然阿里斯塔克的论断把行星绕日运行的椭圆轨道误作了圆形轨道，但是这一理论在当时已是一项了不起的成就了，他也因此被后人称为"希腊时代的哥白尼"。

阿里斯塔克也是第一个试图测量太阳、月亮和地球之间的相对距离和它们相对大小的人。他利用数学几何方法来处理这些问题，做了以下假定：第一，在月亮上、下弦时，太阳、月亮和地球形成一个直角三角形，而太阳和月亮的夹角是87°；第二，月蚀时地球影子的阔度



黄道十二宫图形

西方中世纪的宇宙观相信，上帝创造了黄道十二宫。占星学也通过假定上帝创造了黄道和黄道星座，并赋予这些星座不同属性和名字来达到与宗教和谐相处的目的。在中世纪教会的黑暗统治下，科学也不得不向它妥协。图中描绘的是中世纪对黄道星座的逐一解释。







中世纪的宇宙体系

在亚里士多德看来，宇宙是有限的，最外层的天球之外没有空间或物质存在。但在中世纪的基督教看来，这一学说是对上帝说的否定，因为它给上帝的力量设置了界限。在亚里士多德的学说中，宇宙就如同图中的这个天球。它一共有8层，其中包括恒星和行星，地球是中心。到了中世纪，人们又根据《圣经》的内容加了2层天球，即一个水球层，一个火球层，最终形成我们看到的十层宇宙天球层。

约是月球阔度的两倍；第三，太阳和月亮在天空的角度都约为2°。经过严谨的几何推理，阿里斯塔克得到太阳与地球的距离约是月亮与地球的19倍（正确约为400倍），另外太阳与地球的半径比例约为7倍（正确约为107倍）。

阿里斯塔克用的方法简单又巧妙，而且也很正确，只是所用的假定与实际的数据有所出入。虽然阿里斯塔克的测量结果不准确；但他却开创了人类用科学方法来研究天体的距离和大小的历史，这证明了天体并不是神秘莫测的，而是符合普通规律的物质实物，可以用普通的科学方法对它们进行研究。



地心学说的体系——托勒密

Episode VI

多环球

图中这一多环球表现出了古典科学所构想的宇宙天球结构的模样。球面由赤道、南北极、南北回归线、北极圈和南极圈划分成若干区域。再有，黄道和太阳的路径与南北回归线相交，而地球却始终位于球体的中心。

克罗狄斯·托勒密（90—168年），埃及亚历山大城的著名学者。他在系统总结前人成就的基础上，通过进一步论证创立了自己的天文学体系，并在地理学方面也颇有建树。代表作有《天文学大全》、《地理学》、《天球测绘》等。

古希腊天文学的传统是注重运用几何学原理来描述天地结构和天体运动。在天地结构上，基本上有日心说和地心说两派。至亚里士多德时，地心说更加完备并占据主流。托勒密对地心说作了一系列推演和论证，写出专著《天文学大全》，建立了"地心学说"的体系。

《天文学大全》共13卷，分别阐述了地和天的概念，论证为球形的地球居于宇宙中央静止不动，而日月星辰则

托勒密星表

托勒密在《至大论》中将一千多颗星星列出一个详细的星表，并分类为48个星座。在书中，他标出了星座的具体坐标位置，并说明了这些星座在天球上定位的方法。但这一些被分类的星星却很少有名字，大多数我们现在用的恒星名字来源于后来的阿拉伯天文学。图中是出自中世纪原稿的托勒密星表，分别是天平座和天蝎座的恒星及其坐标。









环绕地球运行；并且叙述了日月星辰运动的规律及如何推算日食、月食等。

托勒密的"地心说"不反映宇宙实际结构的数学图景，但它较为完美地解释了当时观测到的行星运动情况，并取得航海上的实用价值。从而被人们广为信奉，并被基督教用来作为神学的注脚。

地理学方面，托勒密把前代的经验加以总结，著有《地理学》8卷。书中讲述了制图法的基本原则，提出将球形大地画在平面的图上所必具的数学知识。他明确了两种类型的平面投影，并用这些方法将当时已知的世界各地画成了地图，其中包括了亚、非、欧三大洲，中国亦在其内。由于投影方法的优越和简便，《地理学》一书得到广泛的传播，直到14世纪仍不失为一本地理学权威著作。

在数学方面，托勒密用圆周运动组合解释了天体视动，这在当时被认为是绝对准确的。他还论证了四边形的特性，即有名的托勒密定理。他对光学也做过研究，认为光线在折射时入射角与折射角成正比关系。

西方天文学发展的最基本思路是：在已有实测资料基础上，以数学方法构造模型，再用演绎方法从模型中预言新的天象；如预言的天象被新的观测证实，就表明模型成功，否则就修改模型。如果考虑到这种思路正是确立于古希腊，并且正是托勒密第一次完整、全面、成功地展示了这种思路的结构和应用，那么对于托勒密在天文学史上的功绩和影响就不难获得持平之论——"全部中世纪的天文学——拜占庭的、最后是西方的——都和托勒密的工作有关，直到望远镜发明和牛顿力学的概念开创了全新的可能性之前，这一状态一直普遍存在。"

一个伟大学者的论著，有时会对人类历史的发展产生不可思议的直接影响。这种影响是他在撰写其论著时绝对想象不到的，托勒密就是少数这样的伟大学者之一。



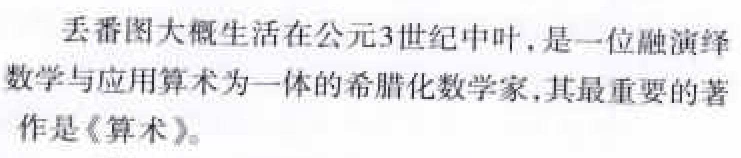
最早的星座图

希腊天文学的中心概念是天球。天文学家认为，地球是位于球体宇宙中心的唯一星球，而球体外壳则载着无数固定的星星，它们看起来似乎是围绕着一个中心极点日夜旋转。图中是希腊时期绘制的古典星座图，也是世界上最早的星座绘图。



数学家的墓志铭——丢番图的年龄

Episode VII

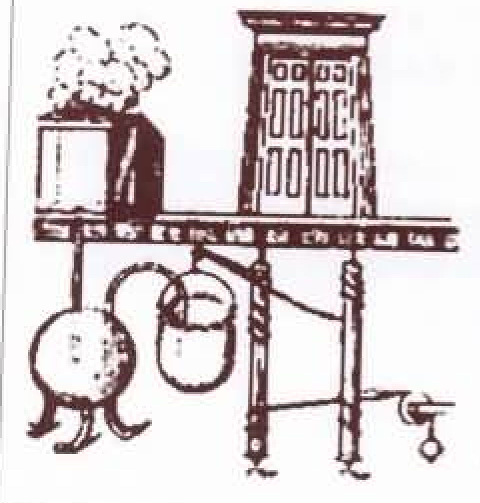


丢番图

生活于3世纪和4世纪的丢番图，在代数学方面作出了杰出贡献，被誉为代数学的鼻祖。他写过三部著作，最出色的一部为《数论》，共13卷，今天仅存6卷，书中收集了189个代数问题。

丢番图大概生活在公元3世纪中叶，是一位融演绎数学与应用算术为一体的希腊化数学家，其最重要的著作是《算术》。

《算术》的大部分内容可以划入代数的范围。它的特点是完全脱离了几何的形式，与欧几里得时代的经典大异其趣。另一个特点是引入了许多缩写符号，如未知量、未知量的各次幂等都用特殊符号来表示。这在代数发展史上是一个巨大的进步。许多问题引出一、二次方程或三次方程，还有大量的不定方程。虽然丢番图已知符号的运算法则，然而解方程时却排除负根。在解不定方程时，他运用了许多巧妙的手法——各个题都用特殊的方法去解，很少给出一般的法则。他的关于数论的论题，直到17世纪才受到重视和推广，从而建立起近代的数论。为了纪念丢番图的功劳——对于具有整系数的不定方程，如果只考虑其整数解，这类方程就叫做丢番图方程；而丢番图逼近、丢番图分析是指只考虑变数取整数值的某些问题或方法。



希腊数学自毕达哥拉斯学派后，兴趣集中在几何学上，他们认为只有经过几何论证的命题才是可靠的。为了逻辑的严密性，代数也披上了几何的外衣。一切代数

热空气机原理推动装置

在丢番图生活的年代，物理学也在蓬勃发展中，其中以希罗为主要代表。据说，这位物理学家制造过一种简单的蒸汽机。它是一个带有两段弯管的空心球体，当球中的水沸腾后，蒸汽通过弯道向外喷，并产生一个反冲力使球体转动。但这一装置在当时只被当做一个玩具，蒸汽动力并未真正付诸实用。

问题，甚至简单的一次方程的求解，也都纳入了几何的模式之中。直到丢番图，才把代数解放出来，摆脱了几何的羁绊。他认为代数方法比几何的演绎陈述更适宜于解决问题；而其在解题的过程中显示出的高度的巧思和独创性，在希腊数学中独树一帜。他也因此而被后人称为“代数学之父”。

对丢番图的生平事迹人们知之甚少，但他的墓志铭告诉我们他究竟活了多久：

“这块墓地里躺着丢番图，上帝赐给他生命的1/6做一个男孩，然后加上他生命的1/12，他的两颊开始生出胡须，再过了生命的1/7，他点燃了婚礼的烛光。5年后他有了一个儿子，这个可怜的孩子活到父亲年龄一半的时候，撒手西去。用数学安慰悲伤的父亲4年后，丢番图也孑然离开了这个世界。”意思即是：丢番图的一生，幼年占1/6，青少年占1/12，又过了1/7才结婚，5年后生子，子先父4年而卒，寿为其父之半。这相当于方程 $x/6 + x/12 + x/7 + 5 + x/2 + 4 = x$，$x = 84$，由此当知丢番图享年84岁。



丢番图的一生

丢番图是一个广泛地编写有关二次方程式的杰出数学家，他将在他之前所有希腊人已完成的代数成果加以汇集编目。但人们关于他的一生却知之甚少，对他的了解来自于刻在他墓碑上的一个代数问题。

希帕蒂娅

图中的希帕蒂娅是历史上第一位杰出的女数学家。她曾注释过阿基米德、阿波罗尼奥斯和丢番图的著作。公元415年，她被一群听命于主教的基督教徒残酷杀害，其遭遇预示了基督教阴影笼罩下的整个中世纪对欧洲数学的压制和毁灭。



古希腊最后的医学家——帕加马的盖伦

Episode Ⅷ

盖伦

罗马帝国时期名气最大且影响最深远的医学家是生活于2世纪的盖伦。他出生于小亚细亚爱琴海边的帕加马。在他的医学研究生涯中，通过对各种动物和人体的解剖研究，发现了许多新的医学事实。其著作被译为拉丁文和阿拉伯文，统治医学界长达1400年之久。

盖伦是亚历山大时期医学界的权威，古代希腊医学的集大成者；是古希腊时期最著名、最有影响的医学大师，被认为是仅次于希波克拉底的第二个医学权威；是最著名的医生和解剖学家。

盖伦生于帕加马，一生写了131部著作，其中《论解剖过程》、《论身体各部器官功能》两书阐述了他在人体解剖生理上的许多发现。这些著作既反映了他的学术成就，也反映了他敏锐的观察能力和实践能力。

盖伦在生理学、病理学及医疗学方面都有许多新发现。他考察了心脏的作用，对脑和脊髓进行了研究，认识到神经起源于脊髓，人体有消化、呼吸和神经等系统。他把在动物实验中获得的知识应用于人体中，对骨骼肌肉做了细致的观察，还对植物、动物和矿物的药用价值作了比较深入的研



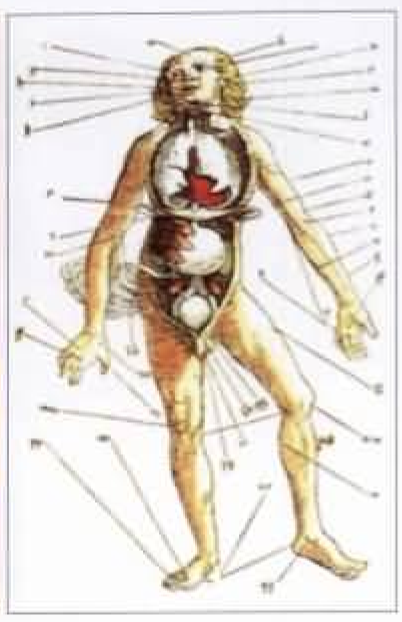
中世纪的医学

中世纪的医学研究注重对第一因和第二因的区分。使万物产生的力量是上帝赐予的，这是第一因，也是研究者不能碰触的地方。而令万物自由生长的自然机制则是第二因，也是研究者所研究的任务。在这幅取自《拉丁圣书》的插图中，人体形象与耶稣形象相结合，同时也表现出当时医学与宗教之间的紧密联系。









究。在盖伦的药物学著作中，记载了植物药物540种，动物药物180种，矿物药物100种。

盖伦的最重要成就是建立了血液运动理论和对三种灵魂学说的发展。毕达哥拉斯学派的菲罗劳斯认为，人体具有三种灵魂，即：生长灵魂，这是人、动物和植物所共有的，位于脐部；动物灵魂，这是人和动物所共有的，位于心脏，主管感觉和运动；理性灵性灵魂，这只有人才具备，位于脑部，主管智慧。亚里士多德则分别称这三种灵魂为生殖灵魂、感觉灵魂及理性灵魂。植物只有生殖灵魂，动物有前二种灵魂，只有人才具备三种灵魂。盖伦把这三种灵魂的说法与人体的解剖学、生理学知识创造性地结合起来，提出了"自然灵气"、"生命灵气"、"动物灵气"的理论。他认为这三种灵气在人体分别位于消化系统、呼吸系统和神经系统，都发源于一个被称之为"纽玛"的中心灵气。这种"纽玛"存在于空气中，人体通过呼吸，吸进"纽玛"从而获得活动。

死者灵魂升空

中世纪的科学完全被宗教思想所抑制。当时的人们将科学和神学相结合，力图展示宇宙中人类是理性而顺从的造物。而上帝，却是希腊人早已定论的具有"超凡智慧"的造物主。一切科学的产生和发展都被约束在神学的统治之下，成为领悟上帝及其创造宇宙的微不足道的手段。

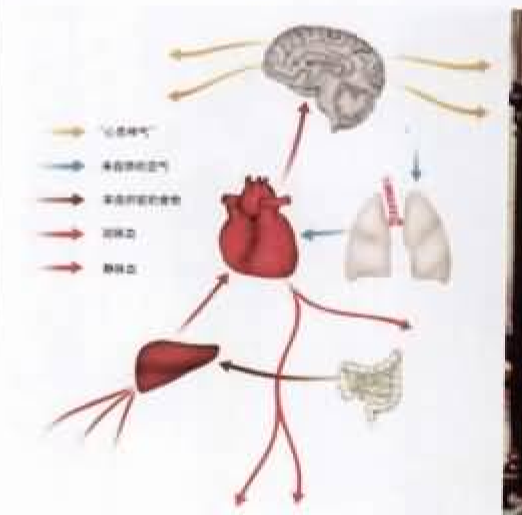
教堂天花板壁画上的盖伦

盖伦在医学上主要分析了三种主要的生理系统，并以此解释身体的功能。其中，他发现了大脑是智力的所在，而心脏是感情的所在，肝脏则是食欲的所在。但他始终不明白血液循环的真正原因和意图。图中是阿纳尼大教堂壁画上刻画的盖伦像，他似乎正在讲解着什么新发现的医学理论。

盖伦人体结构描绘

盖伦通过对生物体进行解剖来详细了解其生理结构。在他的许多内外科医学论著中，记载了许多包眼、耳、鼻、喉等外科术，以及扁桃体摘除手术、骨折治疗手术等。通过这些研究，盖伦对人体生理形成了比较完整的看法，并创立了著名的"三灵气"学说，成为对人体生理现象完整解释的第一人。







盖伦认为肝是有机体生命的源泉，是血液活动的中心。已被消化的营养物质由肠道被送入肝脏，乳糜状的营养物在肝脏转变成深色的静脉血并带有自然灵气。带有自然灵气的血液从肝脏出发，沿着静脉系统分布到全身。它将营养物质送至身体各部分，并随之被吸收。肝脏不停地制造血液，血液不停地被送至身体各部分并被吸收，而不做循环的运动。盖伦认为，心脏右边是静脉系统的主要分枝，从肝脏出来进入心脏右边（右心室）的血液，有一部分自右心室进入肺，再从肺转入左心室。另有部分通过心脏间隔小孔而进入左心室，流经肺部进入左心室的血液，排除了废气、废物并获得生命灵气，成为颜色鲜红的动脉血。带有生命灵气的动脉血，通过动脉系统，分布到全身，使人能够有感觉和进行各种活动。另有一部分动脉血经动脉进入大脑，在这里动脉血又获得了动物灵气，并通过神经系统分布到全身。盖伦认为，血液无论是在静脉或是动脉中，都是以单程直线运动方法往返活动，它犹如潮汐，一涨一落，朝着一个方向运动。

盖伦努力综合了一个包括生理学、病理学和临床医学在内的总的系统，他是从古代直到维萨里以及后来哈维时期内最重要的解剖学家和医学实验家之一。虽然盖伦理论依然存在错误，也曾阻碍了生物学的进步，但这并不是盖伦本人的

盖伦的生理学

在盖伦的理论中，食物通过胃进入肝脏，并被送到全身和心脏。在心脏中，静脉血与来自肺的空气混合，形成动脉血被送往全身，而“生命灵气”则正包含在这些动脉血中。

盖伦为人治病

盖伦的医学著作集古代医学之大成，共记载植物药物540种，动物药物180种和矿物药物100种。盖伦的医学理论奠定了西方医学的基础。图中是盖伦正在为病人治病。





过失，而是教会对他的错误赋予了巨大的权威。长期以来，对盖伦理论提出疑问都要冒被指控为异教徒的危险，他那些非常明显的错误竟被当做是神圣不可侵犯的真理，这无论是对科学事业的发展还是对盖伦本身的荣誉来说，都是非常不幸的。

在欧洲的黑暗时期，盖伦的大多数长篇大作虽不为世人所知，但没有失传或完全被人忽视。他的著作被译成了叙利亚文和阿拉伯文，他的宗教倾向及医学知识，也都成了基督教徒和穆斯林研究医学的基础。

古希腊罗马时期的医学

古希腊罗马时期，在当时医学不发达的状况下，病人犯病通常被认为是魔鬼和神灵所致，病人都会被抬到神庙，巫师通过念咒文、施魔法为病人祈祷康复。

放血治病

希波克拉底认为，人体由土、气、火和水四种元素组成，疾病的产生是由于四种体液失衡所致，放血是恢复体液平衡的一种方法。其后的盖伦在此基础上则大力提倡放血疗法，病情越严重，放血就要越多。他还根据病人的年龄、体质、天气、季节、地点、发病器官等构建了一套放血疗法体系。

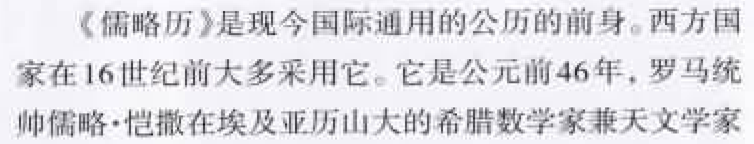


现行公历的源头——儒略历

Episode Ⅸ

阿兹特克历

阿兹特克历，是古代墨西哥制作的“太阳历”，它被雕刻在一座巨石上，呈圆盘形状，周围配置相关的宇宙论图画文字和符号，是古代墨西哥人宇宙观的呈现。它的制作比儒略历晚得多。



《儒略历》是现今国际通用的公历的前身。西方国家在16世纪前大多采用它。它是公元前46年，罗马统帅儒略·恺撒在埃及亚历山大的希腊数学家兼天文学家索西琴尼的帮助下制订，并在公元前46年1月1日起执行，取代旧罗马历法的一种历法。所以人们就把这一历法称为《儒略历》。

《儒略历》以回归年为基本单位，是一部纯粹的阳历。它将全年分设为12个月，单数月是大月，长31日，双月是小月，长为30日，只有2月平年是29日，闰年30日。每年设365.25日，每4年一闰，闰年366日，每年平均长度是365.25日。《儒略历》编制好后，儒略·恺撒的继承人奥古斯都又从二月减去1日加上8月（8月的拉丁名即他的名字奥古斯都），又把9月、11月改为小月，10月、12月改为大月。

罗马宇宙体系图

在图中的罗马宇宙体系图中，地球位于行星和黄道十二宫中心，但不同寻常的是，图中的水星和金星被画在太阳轨道的左侧。这一体系曾被希腊人提出，后来又在罗马天文学家的理论中复活。



15 世纪的月历

儒略历在欧洲历史上第一次在季节的基础上引入了月份的概念，它在1582年被教皇格利高利十三世制定的日历代替，但其中仍保留了儒略历每隔4年一个闰年的习俗。图中的月历描绘的是15世纪法国南方的一次加冕礼。



一月 来自古罗马神话的神雅努斯。

二月 来自古罗马的节日。

三月 来自古罗马神话的战神玛尔斯。

四月 来自古罗马词aperire，意思为“开始”，意味着春天开始。

五月 来自古罗马神话的花神玛亚。

六月 来自古罗马共和国的创始人。

七月 古罗马历只有10个月，这是第5月，原名是“第五”的意思，因恺撒是这月出生的，经元老院一致通过，将此月改为恺撒的名字“儒略”。

八月 原名是“第六”的意思，因后来屋大维生于此月，元老院将此月改为他的称号“奥古斯都”，原来应排为小月，从二月中抽出1天补上，变为大月，将后面的月份重新排大小月。

九月 拉丁语“第七”的意思。

十月 拉丁语“第八”的意思。

十一月 拉丁语“第九”的意思。

十二月 拉丁语“第十”的意思。

经过奥古斯都修改的“儒略历”一直沿用下来，但被发现有个问题：其1年平均长度为365.25天，要比回归年长11分14秒（回归年



高卢历残片

罗马民用年的长度是365天，但是3个民用年后将规律性地跟随一个366天的闰年。在闰年中，罗马人将最后一个月视为纪念死神的不吉利的月份，因此，这就促成了恺撒后来对罗马历法的改革。1897年出土的高卢残片上，记载了这一时期的历法，同时还记载了当时推移月份的日常应用符号，以便交换、借贷和日子倒退计算所需。

印度历的季节	
名称	格利历相应的时期
伐桑塔（春季）	3月中—5月中
格里斯摩（夏季）	5月中—7月中
伐尔萨（雨季）	7月中—9月中
萨罗德（秋季）	9月中—11月中
赫曼塔（冬季）	11月中—1月中
西西罗（露季）	1月中—3月中

印度历与格利历对比

印度历是一种太阳历，每年日子数目和格利历一致，闰年设置也与格里历一致。但在月份设置上，印度历以黄道十二宫为准，一年设有六个季节，每个季节有两个月。图中是一份印度历季节与格利历月份的对比表格。







雅努斯

雅努斯是罗马本土最原始的神，他具有两副面孔，一副看着过去，一副注视未来。古罗马的钱币上就常刻着他的形象。拉丁语"1月"这个词"Januarius"便是起源于他。

奥古斯都

八月(拉丁文Augustus)(罗马人的六月)的月令是以奥古斯都的拉丁语演变而来;在此之前它被叫做Sextilis(语源拉丁语"六")。据说奥古斯都为了小小的虚荣,改变了月份天数的奇偶分布，将原本应为30天的八月定为31天。



是地球绕太阳公转1周的时间，1回归年精确的时间是365.2422天，即365天5小时48分46秒）。为了纠正由此造成的累积误差，罗马教皇格利高利十三世于公元1582年召集众多学者，对"儒略历"进行研究修订。修订的主要内容有两点，一是将1582年10月4日的次日即1582年10月5日定为10月15日，从中消去从使用"儒略历"开始至1582年间累积误差的10天。二是修改制闰法则，原规定4年1闰加1天，但4年实际累积是23小时15分4秒，其中多加了44分56秒（即每年平均多加11分14秒），那么过400年就要多加3天。为此重新制定制闰年法则：凡非整百的年份能被4除尽的定为闰年；而逢百的年份只有能被400除尽才定为闰年（如1900年能被4整除，但不能被400整除，故不是闰年，2000年才是闰年），这样每400年可少置3个闰年即可少加3天。修改后的"儒略历"其精确度大大提高了，大约过3000年才会误差1天。这一改革成果应当归功于格利高利十三世，故人们把修订后的"儒略历"改称为"格利历"，并一直沿用至今。





无神论的源头——卢克莱修与《物性论》

Episode X

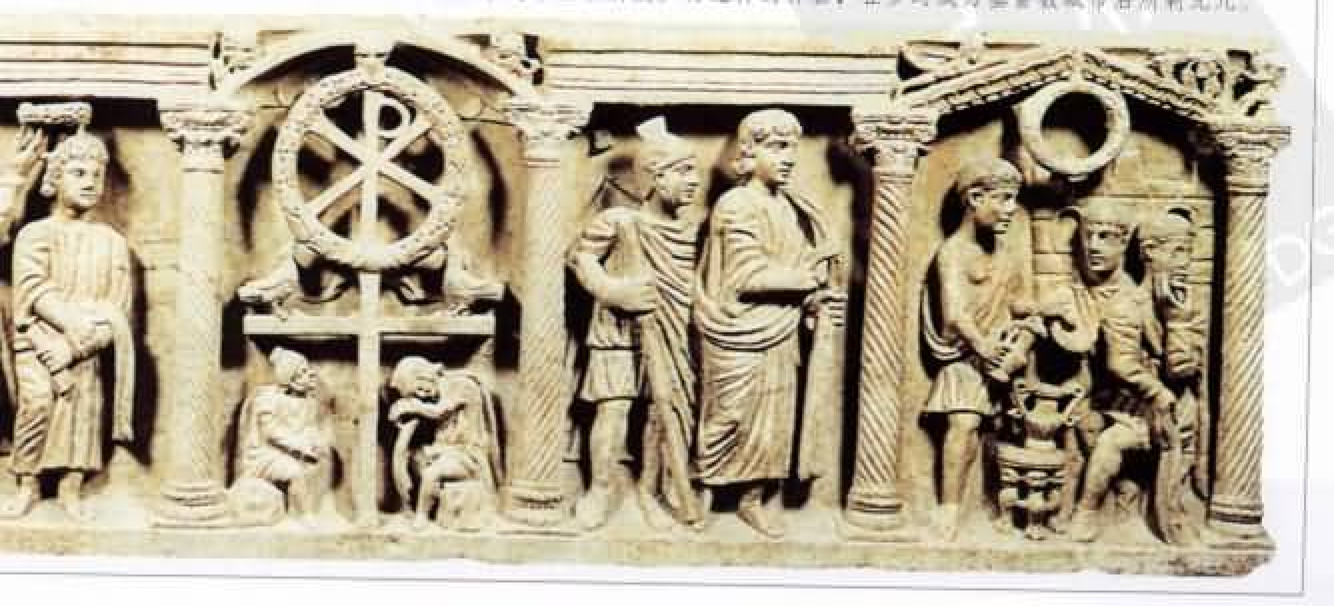
卢克莱修（约前99—前55年），古罗马哲学家，伊壁鸠鲁唯一著名的弟子。他继承古代原子学说，特别是阐述并发展了伊壁鸠鲁的哲学观点，认为物质的存在是永恒的，提出了“无物能由无中生，无物能归于无”的唯物主义观点。反对神创论，认为宇宙是无限的，有其自然发展的过程，人们只要懂得了自然现象发生的真正原因，宗教偏见便可消失。承认世界的可知性，认为感觉是事物流射出来的影像作用于人的感官的结果，是一切认识的基础和来源，驳斥了怀疑论。他认为幸福在于摆脱对神和死亡的恐惧，得到精神的安

卢克莱修

古罗马哲学家卢克莱修反对神创论。他认为，宇宙是无限的，有其自然发展的过程，人们只要懂得了自然现象发生的真正原因，宗教偏见便可消失。他承认世界的可知性，认为感觉是事物流射出来的影像作用于人的感官的结果，是一切认识的基础和来源，并驳斥了怀疑论。

万神庙

从4世纪开始，罗马城从早期的异教城市逐渐变成一个信奉基督教的城市。此时在罗马帝国的辖域内，教堂基本取代了以往的神庙，众神也逐渐被基督所代替。图是古罗马帝国时期建造的万神庙圆尖顶上的浮雕。这一奇特设计在中世纪被认为是魔鬼拿走了屋顶所致。而这样的神庙，在罗马成为基督教城市后所剩无几。











《物性论》书影

卢克莱修是伟大的伊壁鸠鲁派诗人。此为基督教版本，上图是他在伏案写作，文是他著作第一章的开首。在他的著作中，卢克莱修以诗载道，系统地介绍了伊壁鸠鲁学派的哲学思想和古希腊罗马的原子唯物论。

古罗马城

古罗马哲学家卢克莱修所生活的时期，罗马城有其统一的格式，如图。它们一般有方正的城墙，道路十字交叉，在交叉点上建有神庙。这种城市的布局，很像起源于古代伊达拉里亚人的城市花园。全城主要由街坊组成，公共建筑有时用2－4个街坊作基地，神庙则建在城外山头上。因城市很小，后来有些房屋也只好造在城外。欧洲的许多城市就是从这种结构发展而来的。

代表死者的祷告

在科学尚不发达的古代，宗教利用人们对死亡的恐惧进行欺骗，散布灵魂不死的说教，使得人类在宗教的各种重压下悲惨呻吟。在公元3世纪的罗马地下墓穴中，发现了这幅早期基督教艺术中最引人注目的艺术品。画面中的基督教徒正把双手高举，进行祷告，而他的形象则代表死者。

宁和心情的恬静。著有哲学长诗《物性论》。

《物性论》是卢克莱修的哲学长诗，1473年整理出版，是现存唯一系统阐述古希腊罗马的原子唯物论的著作。全书依据德谟克利特开创的原子唯物论，以大量事例阐明了伊壁鸠鲁的学说，批判了灵魂不死和灵魂轮回说及神创论，将朴素唯物主义的观点贯彻于自然、社会和思维领域。

《物性论》第一卷批驳了宗教和神创论，论述原子与虚空，指责宗教蒙蔽人们的理智，贬低人的尊严，唆使人类做出不道德的行为，使人们陷于极端的贫困。他通过具体事例论证了原子和虚空的实在性，但没有用"原子"这个词，而是用"本原"、"原初物体"、"物体"、"种子"、"元素"以及"物质形体"来代替。

与德谟克利特不同，卢克莱修认为原初物体的形状是有限的，他从物体的多孔性和比重的不同论证虚空的存在。他把原子论和感觉结合起来，提出可能性表明性质，不可能性表明虚空。他认为宇宙是无限的，物质和空间都是无限的，宇宙中有无数世界在形成、发展和消亡，我们的世界并非唯一存在的世界。在第二卷中，卢克莱修阐述了原子运动的规律性，还说明了世界和万物形成的原因，指出为德谟克利特所忽视的偶然性的存在。在第三卷中，卢克





灵魂崇拜

灵魂崇拜在古希腊时代极为盛行，其肇始来自古埃及神话中关于"卡"的记述。人类的灵魂与肉体的人同形同貌，被称为"卡"。"卡"在冥冥之中存在，与人类的肉体相遇并结合在一起。古埃及人认为必须对死者的遗体妥善处理，如将其制成木乃伊，死者的"卡"必在来世永享福泽。

莱修论述了灵魂的本性，区分了灵魂和精神，认为灵魂是生命的本原，精神是意识和理智，二者都是物质的，是由极其精细的原子所构成。在第五卷中，卢克莱修描述了宇宙、生物和社会的形成过程，并着重描绘人类与社会发展的图景，还推测到需要是社会发展的动力，认为理性能找到满足需要的手段。这些看法既表现出肯定人类进步和社会发展的思想萌芽，也混杂有唯心主义的观点。在第六卷中，卢克莱修研究了当时的各门学科，并用原子唯物论观点解释了各种自然现象。书中还表现出生物进化论的思想。

《物性论》一书对研究原子唯物主义有重要的参考价值，并对以后唯物主义的发展产生了深远的影响。

走近罗马

Episode Ⅺ

科路美拉

科路美拉所处的时期正是罗马农业衰落的时期，他在其农业著作中分析了罗马农业衰败的原因，并通过农业著作向后世透露了公元1世纪的政治、经济以及社会生活等方面的信息，这对后来的庄园管理有重要影响。

在古代世界，差不多只有希腊人才具有独创的科学思想。罗马人虽然擅长治理国家，在军事、行政和立法方面具有优异的能力，但在学术方面却没有多少创造力。他们的艺术、他们的科学，甚至他们的医学，都是从希腊人那里借来的。罗马人似乎只是为了完成医学、农业、建筑或是工程方面的实际工作，才对科学关心。

公元20年左右，旁托斯的阿玛息亚的斯特拉波用希腊语写了一部全面的地理学著作。这部著作对当代的其他科学也有所说明。罗马人东征西讨，自然使人们对地球表面的知识不断增加，描写帝国道路的旅行指南也在这时开始出现。

维特鲁维奥写了一部建筑学论著，其中详细叙述有关的物理学知识和技术知识，提出工程应以科学为基础。全书分为十卷，第一卷讲建筑原理；第二卷讲建筑史和建筑材料；第三卷和第四卷分析了希腊式神庙的建筑结构；第五卷谈及城市整体规划；第六卷论民居；

罗马建筑艺术精品——比萨主教堂

罗马人擅长建筑和工程方面的实际工作，其建筑也尤其独特典型。罗马式建筑往往包括上半部为半圆形顶的门窗、厚实的石墙以及圆屋顶、粗圆柱等。室内的墙壁上一般饰以大量宗教题材壁画，并广泛使用雕塑装饰，其风格影响了法国和西欧不少国家的教堂建筑，图中意大利的比萨主教堂就是一例。





第七卷谈室内设计；第八卷谈供水技术；第九卷论计时器；第十卷讨论一般的工程技术问题。该书涉及的范围极其广泛，被称为建筑学上的百科全书，维特鲁维奥因此被称为建筑学的鼻祖。

书中反复提到希腊科学家，还高度评价了希腊工程师特西比乌斯。维特鲁维奥在书中思考的内容远远超过了建筑学，涉及到天文学、声学，描述了各种日晷及水轮的构造，并研究了金星和水星围绕太阳旋转的理论。他已经了解声音是空气的振动，并且对建筑音乐学作了说明。这是关于建筑音乐学的已知的最早说明。

罗马军人和工程师弗朗提努（40—103年）对流体力学提出一些有益的见解。他做过

古罗马饰物

在图中这一古罗马饰物上，金制的圆盘下缀以各色宝石，饰物正中还镶嵌着主人的侧面头像。制作之精美体现出当时工艺水平的纯熟。



波特兰花瓶

在罗马人到处征战的过程中，他们不仅扩展了对地理学方面的认识，也学习了其他地区的先进制作技术。在古领腓尼基后，当地的玻璃制造技术就为罗马人所利用。在不断实践中，罗马人将玻璃制造工艺作了提高，其镶嵌技术可以把各种玻璃黏在一起，经过加热再形成新的形状。图中的波特兰花瓶，就是利用镶嵌技术和浮雕技术结合形成的精美工艺品，其效果是在玻璃的表面形成宝石一样的华美色泽。

罗马建筑师地位提高

由于建筑制图技术的成熟，建筑不仅仅只是一种实践活动，在古罗马时期，它已上升为一种科学，而建筑师的地位也相应提高。图中的罗马建筑师正在为教皇讲解新建教堂的结构和风格。从教皇以及旁人认真聆听的表情来看，建筑师的专业背景以及认真的分析，都为他们所景仰。



罗马耶稣教堂

图中的维尼奥拉罗马耶稣教堂是公元16世纪罗马教堂建筑的典型。在当时的罗马教堂建筑中，布局都普遍采用：中厅周围只有半圆形殿，圣殿按集中式形制设计，顶上覆以圆顶，通过半圆形后殿延伸，而祭坛始终置于半圆形后殿中，耳堂转变为一些与圆顶大小等宽的简单侧殿的建筑式样，交叉甬道已不存在，圆顶也仅仅是满足美观的需求而存在。而这些建筑风格的转变，全部都被当时的一些建筑学家写进论著中，维特鲁维奥就是其中之一。









罗马的放血疗法

放血疗法从罗马医生盖伦那里得到了最强有力的推动。在早期希腊医学研究中，四元素平衡论很快便衍生出一个似乎能够更好地解释疾病与健康的理论，即四体液论。人们相信，热和干燥是血液的属性，所以人有上述症状是因为血液过多，需要减少。因此在静脉开个口子任血液流出，或用水蛭吸血成为后来以至罗马时期的一种重要的医疗手段。

瓦罗的农学观

瓦罗对农业的研究不单单停留在一般的议论之上，他更多地注重对农业理论知识的系统化整理和运用。他所提出的影响农业生产的四要素：水、土、空气和阳光，在今天仍是影响农业生产的重要方面。

罗马导水管监察官，谈到了罗马的给水工程，并且由实验中发现，水由管口流出时，水流的速度不但决定于管口大小，而且决定于管口在水面下的深度。

在农业生产力水平有了很大提高的基础上，罗马出现了一些对农业有研究的行家里手。这一时期，出现了三大农学家：加图、瓦罗和科路美拉。

加图的《农业志》是罗马现存最早的农书。加图（前234—前149年）是罗马共和国前期著名的政治家、散文家和农学家，生平著述甚多，《农业志》是他最重要的著作。加图对农业生产中的各种问题都提出了自己的看法，如何时施肥、怎样施肥、怎样管理牲口和保管粮食等。《农业志》提供了公元前2世纪意大利农业生产和奴隶制经济发展的宝贵材料。

第二位农学家瓦罗（前116—前27年）的著述也很丰硕，但保存下来的只有《论拉丁文法》部分残篇和《农业论》3卷。3卷中，1卷论农业经验，2卷论牲畜饲养，3卷论鸟、鱼饲养。《农业论》比较全面地总结了罗马人的农业科技成果，是认识罗马奴隶制庄园的重要资料来源。

第三位农学家科路美拉著有《论务农》12卷，是他抱着振兴罗马农业的愿望完成的，科路美拉用相当篇幅翻译了迦太基农学家马哥的著作。《论务农》对中世纪的庄园管理有过重要





古罗马的圆形剧场

图中的古罗马圆形剧场坐落于安曼城堡山脚下的老城区，建于公元2世纪，其设计风格与约旦杰拉什的古罗马剧场极其相似。该剧场呈圆形，可容纳6000人，建造者在修建过程中充分利用了声学原理，不论坐在剧场何处，都能清楚听见表演者的声音。



罗马时代的医学

罗马时代的医学发展与古希腊时代的医学有继承关系。公元前2世纪，罗马人占领了原希腊地区的巴尔干半岛南部。此后，希腊医生大多来到罗马，如最著名的医生盖伦，原籍就是希腊。罗马在公共卫生方面有较高水平，他们利用奴隶修建了城市水道、下水道和浴场。在著名的“十二铜表法”中，还禁止在市内埋葬，并指出要注意饮水卫生等。图中描绘的是古罗马病人在公共医院里治病的情景。

影响。

这三位农学家的著作，对研究罗马农业生产和庄园经济的发生、发展及衰落提供了宝贵的资料。

罗马医学继承了希腊医学的成果。公元14年，罗马建立了第一所公立的希腊医校。公元1世纪时，名医塞尔苏斯写了一部影响力很大的内外科医书，书中记载了很多外科手术，比如眼、鼻、耳、唇的外科手术，牙科手术，扁桃体摘除手术，甲状腺手术，骨折治疗手术等。另一位医学家卢弗斯第一次精确地描述了肝脏和脉搏的节奏，他最先告诫世人：可疑的水应该煮沸后方可饮用。

罗马人在理论科学方面成就很少，但是在实践方面却值得注意。罗马的卫生和公共保健事业都安排得很好，清洁饮水用巨大的导水管引到市区内，市内设立有公共医疗系统和医院，军队中设立有医官。

关注自然的海军司令——普林尼

Episode Ⅻ

普林尼

普林尼是罗马的一位博物学家，生于意大利北部的新科莫。他少年时赴罗马学习文学、辩论术和法律。青年时参军，后来周游欧洲各地，曾经担任西班牙行政长官和罗马海军司令。他学识渊博，勤于著述，积累了大量的自然科学知识。其撰写的《自然史》成为古代自然科学的百科全书，他也为探求科学真理而献出了生命。

加伊乌斯·普林尼·塞坤杜斯（23—79年），常称为老普林尼或大普林尼，古罗马作家、科学家，以《自然史》留名后世。

《自然史》是一部集古罗马自然科学之大成的巨著。它内容广博丰富，论及天文、地理、动植物、农业、医学、矿物冶金、工艺及雕刻绘画等各方面，有的还涉及到社会经济与历史人物，是西方第一部科普通俗著作。例如在第二卷中详细记述了公元前217年罗马城的大地震，并介绍了地震的种种前兆。在后7卷中，记载了大量化学反应过程和处方，是西方历史上第一部论述化学反应的科学著作。在第八卷中讲述了4种葡萄压榨机。另外，普林尼在书中借用、新创了许多拉丁词汇，丰富了其表达方法，对拉丁文后来成为欧洲学术界通用语言起了较大作用。在书中他把中国称为“赛里斯”，而在1000多年后“赛里斯”才出现了









堪与他比肩的科学家及著作——沈括的《梦溪笔谈》。

普林尼同时强调了罗马人的观点，即任何知识和科学，不管是可以直接应用的，还是可以间接地用于道德说教的，都对人类有用。这种被认为具有人的特点的目的论使得这本书为中世纪的基督教会所接受。此外，普林尼还对他所看到的文化衰退感到担忧。罗马人虽然建立了财富充盈、资源丰富的庞大帝国，但其科学的发展却似乎丧失了。希腊时期，许多国家间战火连绵不断，旅行变得非常危险，科学研究事业却得到蓬勃发展；而在罗马时期，虽然建立了秩序与和平，旅行也安全了，获得书籍和从事科学与文化工作的条件比以前任何时期都要好，但科学却明显地停滞不前。他得出的结论是：这一切都是由于同时代人只关心自身的安全和财富造成的。在普林尼看来，科学的衰落只不过是整个罗马世界弊病的一小部分。

普林尼的一生像他的著作一样，很值得考察。因为它提供了他那个时代的精神，这种精神是从一个罗马公民的经历这种真实典型中提炼出来的。普林尼在参军以前曾从事法律工作，曾广泛地游历过德国、高卢、西班牙和非洲等地，他与罗马皇帝很要好，因此普林尼担任了西班牙行政长官，后来又被任命为罗马海军司令。

好奇心和高效率是普林尼个人的天性，然而正是好奇心使他献出了生命。公元79年8月24日下午1时，意大利维苏威火山爆发，摧毁了庞贝城和赫尔库拉内姆城。在当时这种情况下，普林尼为取得第一手资料，不顾安危，深入险地，在观察时，他被火山喷出的浓烟熏倒，不幸中毒身亡。

古罗马的雕像陈列室

古罗马文化是在自身传统的基础上，广泛吸收东方文明、希腊文化的精华融合而成。尽管当时的罗马帝国极其强盛，但在科学文化方面的成就并不突出。图中一群古罗马人对着雕像陈列室中的古希腊雕像发出惊叹，也暗示着这个伟大的帝国在科学文化方面的衰退。

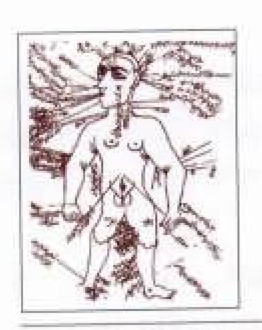
《自然史》书影

普林尼的《自然史》堪称古代最伟大的经典作品之一。它作为自然界一切知识的宝库，深深影响了当时古罗马世界和后来人们的思想。普林尼在他的《自然史》中提到"大自然到底是人类的慈母还是凶暴的后娘，此事实难判定"，对于大自然如此准确的描述使得普林尼的名字被后人铭记。人类与自然的复杂关系，成为一千多年前普林尼的箴言，时至今日，这一思想依旧闪烁着智慧的光芒。图为《自然史》书影。

《自然史》内页

《自然史》是西方第一部科学论述化学反应的科学著作。在化学研究基础上，普林尼提出了分离金银的火试金法，对当时炼金术的发展提出了较为科学的理论依据。





阿拉伯人绘制的人体结构图



第二编　中世纪的科学技术

罗马帝国后期，古典文化的光辉消失了，整个欧洲进入暗淡无光的中世纪。但在东方，作为文明古国的中华帝国却发射出耀眼夺目的科学技术之光芒。也是在欧洲的文化沙漠时代，阿拉伯人继承了希腊的科学遗产，成了科学火种的保存者。中国人与阿拉伯人在中古时期高度发达的科技水平，与同时期欧洲的漫漫长夜恰成鲜明对比。



阿拉伯人的遗产

ALABORENDEYICHAN

中国：

六七世纪，中国隋唐时代出现了以高温度烧成的真瓷，质坚、细致、半透明，和近代瓷器相似。

公元605年，隋炀帝开通济渠、邗沟。

公元608年，隋炀帝开永济渠。

公元609年，崔赜始撰《区宇图志》250卷，后经多人增补为1200卷，是中国第一部一统志。

公元605至617年间，李春建赵州桥。隋朝黄衮、黄巨兄弟发明大型木人戏——"水转百戏"，可连续表演72种历史故事中最精彩的场面。

公元621年，唐朝初行"开元通宝"钱。每十钱重一两，"钱"自此成为重量单位。

公元624年前，唐朝欧阳询等编撰的《艺文类聚》成书，它是中国最早的官修类书，书中记载了大量自然科学与技术方面的资料。

公元624年，唐始定律令，规定的唐代官方法定度量衡单位量制主要与《汉书·律历志》大致相同。

公元630年3月，唐朝在东、西和东亚地区，建立起以唐朝为中心的国际关系和国际秩序。

公元634年，吐蕃赞普朗日论赞与唐朝建立联系。从此，内地医学、历算、生产技术传入藏族地区。

公元635年，唐将侯君集、李道宗破吐谷浑，进军黄河河源区，黄河源初步探明。

公元640年，唐将侯君集破高昌，引入高昌马奶葡萄，并用自然发酵法酿出葡萄酒。



公元642年，魏王李泰编成《括地志》，为唐初一部重要的地理志。

公元646年，唐玄奘《大唐西域记》12卷完成，该书是中国古代杰出的旅行记和研究中亚、印度一带历史、地理的重要文献。

公元647年，中国遣使赴印度学习制糖技术。

公元652年，孙思邈撰成《备急千金要方》30卷。

公元674年，唐三彩陶釉开始生产，至玄宗开元年间（713至741年）臻于极盛。

公元682年，孙思邈撰成《千金翼方》30卷。

公元683年，王方翼创造人力耕地机械。

公元686年，武则天撰《兆人本业记》，是中国最早的官修农书。

公元689年，李昭德于洛阳首创分水金刚墙，即于桥脚做迎水面有尖角的墩子以分散水势。

8世纪初，杨务廉创制发声机械木偶。

8世纪初，唐代开始使用硫化矿炼铜术。

公元701年，孟诜《补养方》3卷问世，后易名《食疗本草》，为中国第一部以食疗命名的食养食疗专著。

公元710年，韦巨源撰成烹调技术专著《食谱》，为中国最早的饮食专著之一。

公元712至742年，道士王旻撰《山居要术》3卷，为较早的山居系统农书。

公元737年，最早的一部国家水利法规《水部式》颁行。

公元751年，怛罗斯之役，唐军为黑衣大食所败，中国的纺织术、造纸术开始传入中亚和欧洲。

公元760年，陆羽《茶经》问世。

公元766至779年，四川涪江开始生产冰糖。

公元775年，李皋造车轮战舰。

公元9世纪，中国瓷器传入埃及。

公元10世纪左右的宋初，中国发明了世界上最早的胆水(胆矾溶液)浸铜法，并用于生产铜。这是水法冶金技术的起源。

通过保存和同化所遇到的较高文明，阿拉伯人建立了一个西起比利牛斯山脉、东迄中国边境的帝国，同时，阿拉伯人也继承了古希腊科学的遗产。在先知之后4个世纪中，伊斯兰科学家的数量与泰利斯后4个世纪的希腊科学家数量相当，因此它也就顺理成章地成为把古希腊科学传送至中世纪欧洲的中间驿站。通过阿拉伯人的著作，印度数字和位值计数法才得以传到西方，而后又影响了全世界；中国的造纸术、火药配制、炼丹术、指南针等伟大发明，也正是通过阿拉伯人得以成为后来推动西方社会形态向前迈进的催化剂。

阿拉伯文化的黄金时代

Episode Ⅰ

花剌子米　雕塑

花剌子米，生于波斯北部城市花剌子模（今属乌兹别克斯坦），是拜火教徒的后裔，一生大部分时间在巴格达度过，在天文、历法、地理、地图等方面均有贡献，尤数学最精，被称为“阿拉伯数学之父”。

中世纪人类历史上各大古文明的交汇，造就了阿拉伯世界的全面兴盛。这一时期，阿拉伯帝国包容了当时世界最先进的几种文明：印度西北部的印度文明、叙利亚的古巴比伦与希腊文明的混合体、波斯与两河流域的波斯文明、亚历山大城内所保留的希腊文明的种子、古埃及文明，以及帝国内犹太人留下的希伯来文明。

公元630年，穆罕默德兵临麦加城，迫使麦加贵族承认自己是阿拉伯的政治领袖，并于第二年统一了阿拉伯半岛。在这样的大背景下，穆罕默德融合并发挥了基督教和犹太教的教义，创立并大力传播伊斯兰教，使这一主张守约、公道、宽容、忍耐，反对各部落间争荣和个人矜夸的宗教在阿拉伯世界广为流传，一改蒙昧时代阿拉伯人自我夸耀、重物质实利、不愿服从权力、各部落间为生计相互残杀的落后状态，为愚昧



阿拉伯人的地图

该地球平面球形图原图是9至13世纪的伊斯兰教地理学家阿尔·伊德里西绘制的，在绘制上受古希腊地理学家的知识影响。此图为1844年复制，图中非洲海岸和下端中国的海岸靠在一起，中间只隔几个岛屿。对未知地域的探测，使阿拉伯人成为世界上东西方文化交流的使者。

散漫的阿拉伯人创造了一种极好的黏合剂。

穆罕默德死后，其继任者继续实践对阿拉伯各族的统一大任。阿拉伯军队连克叙利亚、埃及、波斯、北非，扩大了伊斯兰教的影响。公元755年，阿拉伯帝国的西班牙部分独立，而其他地区则处于和唐在中亚对峙的阿拔斯王朝统治之下。阿尔·拉西德统治时期，阿拉伯帝国达到黄金时代。对外，他两次率兵征服拜占庭，多次征战小亚细亚，在巩固王朝统治的基础上，扩大了伊斯兰教的影响范围；对内，他鼓励生产，倡导教育、学术，把王朝推到了顶峰。在他统治时期，阿拉伯科学文化兴旺发达，帝国名震欧亚。

在科学技术方面，这一时期最负盛名的是建立于巴格达的智慧馆，它与亚历山大的缪塞昂十分相似：设有两座天文台、一座翻译馆和一座图书馆。当时的学者们聚集在这里搜集、整理并翻译中亚、印度、中国、西亚和北非等国家和地区，以及古罗马和希腊的学术著作，其中包括翻译梵文天文学著作《太阳悉檀多》和托勒密的《天文学大全》，以及从拜占庭那里获得的许多希腊书籍，如欧几里得的《几何原本》。同时，大量著名学者也在这一时期频繁涌现，如天文学家发萨里和哈查只，著成《医学大成》的科学家及巴格达

阿拉伯人的人体结构图

古阿拉伯人的医学成就是最高的，他们建立了世界上第一所正规医院，而且在民间还存在很多特有的民族疗法。伊斯兰教创立后，精神疗法也被引入医学。

阿拉伯炼金大师阿尔·拉兹

图中是阿拉伯炼金大师阿尔·拉兹正在做化学实验时的情形。阿尔·拉兹继承了贾比尔的炼金传统，注重化学实验，少谈神秘之术。在此基础上，他还发展了贾比尔的组分理论，增加盐为第三种组分。而汞、硫和盐的三组分理论一直流行到17世纪。









星 盘

这是制造于16世纪的精美的阿拉伯星盘，是存储北天球恒星基本数据的一种巧妙工具。盘面上网格和刻度非常清晰，从侧面反映了阿拉伯数学、物理学和天文学的发展水平。



占星术

占星术，是星相学家观测天体、日月星辰的位置及各种变化，以此来预测人世间的各种事物的一种方术，在阿拉伯文化中占有重要地位。这幅作于17世纪早期的手稿，描绘了一位身边放着星盘、黄道表格和计时沙漏的占星学家。

医院院长拉齐，著名数学家花剌子米和曾在中国、印度沿海一带游历并口述了一部游记的商人苏莱曼。

从技术史的角度来看，这一时期的欧洲正处在封建化过程，在罗马的废墟旁边封建主的庄园和手工作坊正在兴起，古老的技术也有了恢复之势。同时，这一时期阿拉伯人的西进把东方学术和技术传到这里，为当时欧洲基督教统治的世界带来新文明的影子。

阿拉伯的数学成就

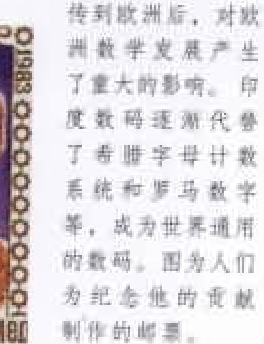
Episode Ⅱ

阿拉伯的数学成就首先表现在代数学方面。

花剌子米（约780—850年）是中世纪对欧洲数学影响最大的阿拉伯数学家，他的《还原与对消计算概要》一书在12世纪被译成拉丁文，在欧洲产生了巨大影响。阿拉伯语“al-jabr”，意为“还原移项”，“a'l-muq ā bala”即“对消”之意，传入欧洲后，到14世纪“al-jabr”演变为拉丁语“algebra”，也就成了今天的英文“algebra”。《代数学》的内容主要是算术问题，尽管所讨论的数学问题比丢番图的问题简单，但讨论一般性解法比起丢番图的著作更接近于近代初等代数。《代数学》首先指出，数学问题都是由根（x）、平方（x^2）和数（常数）这三者组成。接着，分六章叙述了6种类型的一、二次方程的求解问题：第一章讨论“平方等于根”的方程；第二章讨论“平方等

花剌子米纪念邮票





花剌子米在《印度计算法》中介绍的印度数字和十进制计数法，向西传到欧洲后，对欧洲数学发展产生了重大的影响。印度数码逐渐代替了希腊字母计数系统和罗马数字等，成为世界通用的数码。图为人们为纪念他的贡献制作的邮票。

西阿拉伯天文学派——查尔卡利

西阿拉伯天文学派主要盛行于西班牙和摩洛哥地区，代表人物为查尔卡利。他编制过《托莱多星表》，在欧洲流行使用了200多年。还对托勒密天文体系作了修正，提出了以椭圆均轮代替水星本轮的方案。图中他正在做天文研究。







计算家卡米勒

卡米勒继承了花剌子米的研究，在四次方程求解和无理系数二次方程的处理上作出了很大贡献。据史料研究，他很可能是埃及人，所以有"埃及的计算家"之称。



海亚姆

海亚姆非常博学，在很多方面均有研究。他写过诗歌，改革过波斯的历法。数学上，他提出了圆锥曲线的交点便是多次方程的解，也讨论过二项式的展开。

阿拉伯人绘制的狮子座

众所周知，观测天文演变离不开数学或三角学知识，阿拉伯的三角函数就是在这些宇宙探秘以及在研究天文历算的过程中发展起来的。取狮子座的某些点相连，就可绘成正弦曲线。

于数"的方程；第三章讨论"根等于数"的方程；第四、五、六章是关于三项二次方程求解问题，它分别讨论三种类型的二次方程：

$$x^2+px=q \quad x^2+q=px \quad x^2=px+q$$

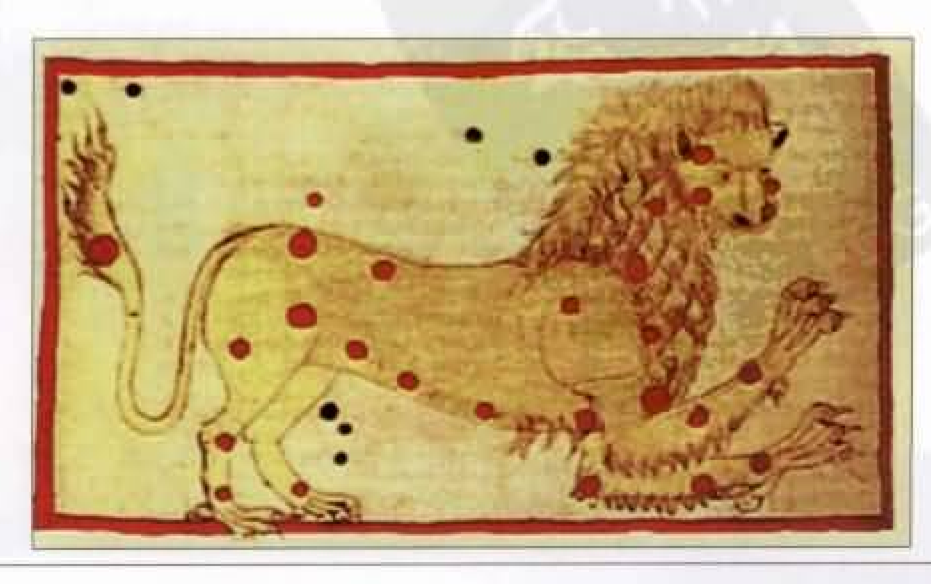
对以上方程都给出了相应的求根公式。这六种方程的系数都是正数，可统一为以下一般形式：

$$x^2+px+q=0$$

这样，花剌子米相当于获得了一般的求根公式。

每一问题求出正根（x）后，花剌子米又求出根的平方（x^2）他明确指出，二次方程可能有两个正根，也可能有负根，但他不取负根与零根。

在以上六章内容之后，花剌子米又以几何方式证明上述各种解法的合理性。花剌子米还指出，任何二次方程都可以通过"还原"与"对消"（即移项与合并同类项）的步骤化成他所讨论的六种类型的方程。由此可见，《代数学》关于方程的讨论已超越传统的算术方式，具有初等代数性质，不过，在使用代数符号方面，相对丢番图的工作有了退步。花剌子米用几何方式证明代数解法的传统被阿拉伯其他数学家所继承，这种几何证明方式的来源今天尚不清楚，它似乎来源于希腊人的传统，但更接近于中国宋元数学中的"条段法"。



花剌子米的另一本书《印度计算法》也是数学史上十分有价值的数学著作，其中系统介绍了印度数码和十进制记数法，以及相应的计算方法。尽管8世纪印度数码和记数法随印度天文表已传入阿拉伯，但并未引起人们的广泛注意，正是花剌子米的这本书使它们在阿拉伯世界流行起来。它后来被译成拉丁文在欧洲传播，为欧洲近代数学的产生提供了科学基础，所以欧洲一直称这种数码为阿拉伯数码。

花剌子米的数学工作后来为艾布·卡米勒（约850—930年）所继承。卡米勒的《计算技巧珍本》的传播和影响仅次于花剌子米的《代数学》，许多数学问题也采自于花剌子米的书。卡米勒把埃及、巴比伦式的实用代数与希腊式理论几何结合起来，也常常用几何图示法证明代数解法的合理性。其另一著作《论五边形和十边形》包括几何和代数两方面的内容，其主要特色是四次方程解法和处理无理系数二次方程。

波斯人奥马·海亚姆（约1048—1131年）是11世纪最著名且最有成就的数学家、天文学家和诗人。他曾受命在伊斯法罕（今伊朗境内）天文台负责历法改革工作，制定了精密的哲拉里历。他在代数学方面的成就集中反映于他的《还原与对消问题的论证》（简称《代数学》）一书中。其中有开平方、开立方算法，这些方法与中国宋元时期的增乘开方法接近，而且在取实数根的近似分数时，采用与秦九韶、朱世杰相同的公式。该书对代数学发展最杰出的贡献是用圆锥曲线解三次方程。

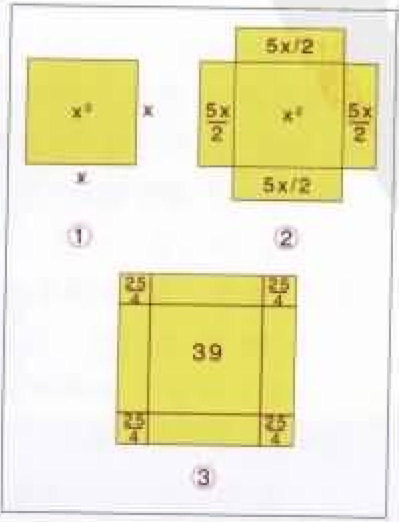
希腊人门奈赫莫斯为解决倍立方体问题而发现了圆锥曲线，实际上它与三次方程$x^3=2a^3$相联系。阿基米德在解用平面截球，使所截得的两部分体积比为定值的问题时，导致一个三次方程：$x^2(a-x)=bc^2$。他利用两条圆锥曲线$y(a-x)=ab$和$ax^2=c^2y$的交点来求解。阿基米德的传统启发了阿拉伯数学家，一些人也采取这种方式解

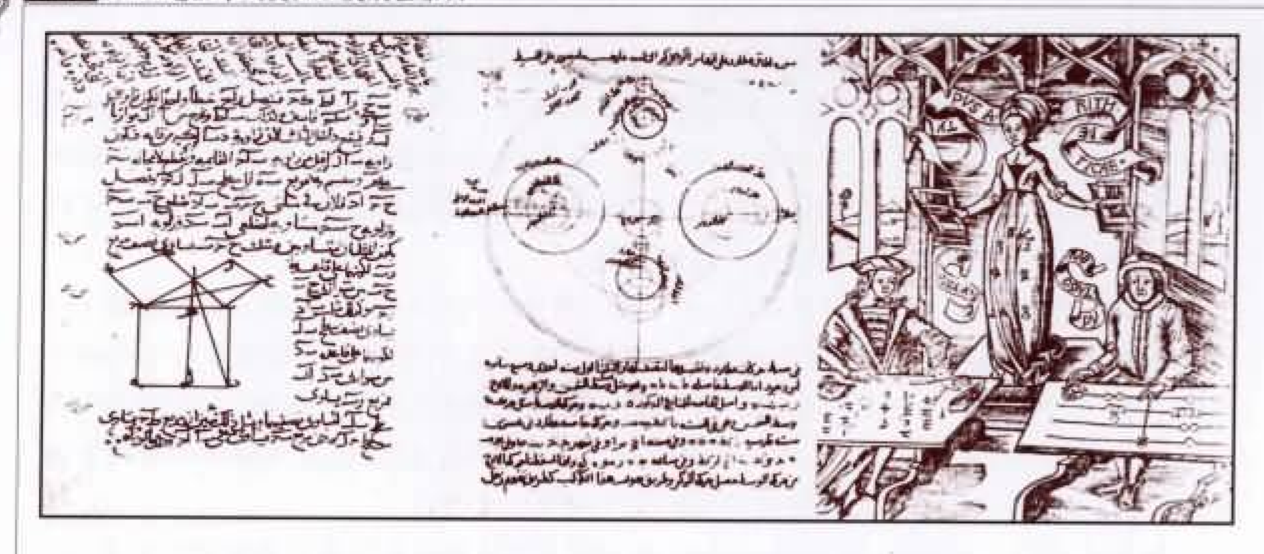
阿拉伯数字

阿拉伯人在东西方文化交流中起着桥梁的沟通作用。古印度的数字和位值计算法，透过阿拉伯数学家的著作传到世界各地，为世界计数和计算提供了方便。

花剌子米之代数学观点

“代数学”一词最早来源于花剌子米的《还原与对消计算概要》一书。他还在数学著作中提出代数的数学问题由根、常数和平方三部分组成，运用移项和合并同类项的方法可解一、二次方程。





毕达哥拉斯定理

此图出自阿拉伯手抄本，图中记载了直角三角形斜边的平方等于两直角边平方之和。

水星轨迹

这是伊斯兰教手稿中的水星轨迹，可以看到阿拉伯人从托勒密那里学来了本轮体系。

算术比赛

此图采自1504年赖喜的著作《哲学珍宝》。图中描绘"算法家"和"算盘家"的一场竞赛，中间为裁判"算术女神"。算法家以印度—阿拉伯数码计算，算盘家用算盘计算。

三次代数方程。奥马·海亚姆首先把不高于三次的代数方程分为25类（系数为正数），找到14类三次方程，对每类三次方程给出相应一种几何解法，例如解 $x^3+ax=b$，首先将其化为 $x^3+c^2x=c^2d$，（这里 $c^2=a$，$c^2d=b$，按照希腊人的数学传统，a、b是线段，c^2 为正方形，c^2d 为长方体），方程 $x^3+c^2x=c^2d$ 的解就是抛物线 $x^2=cy$ 与半圆 $y^2=x(d-x)$ 交点的横坐标x。他首先画出正焦弦为c的抛物线，再画出直径为d的半圆，过它们的交点作垂线ps，则ps长度就是方程的解。这一创造，使代数与几何的联系更加密切。可惜在1851年以前，欧洲人并不了解奥马·海亚姆的这种解析几何方法。

在求高次方程的数值解上，晚期的纳西尔·丁（1201—1274年）和阿尔·卡西（?—1429年）都给出了开高次方的一般性算法。阿尔·卡西是帖木儿时代撒马尔罕天文台负责人，他在《算术之钥》中还给出了用于开方的二项式系数表，与11世纪中国贾宪的"开方作法本源图"十分相似，而且所介绍的两种造表方法之一，与杨辉算书所录贾宪"增乘方法求廉草"完全一致。《算术之钥》中还有"契丹算法"（即盈不足术）和"百鸡问题"，后来传入欧洲。阿拉伯人代数学确切的来源并不清楚，除印度、亚历山大里亚的希腊数学外，应当还有中国数学的影响。

在使用数学符号方面，与丢番图相比阿拉伯人退步了，阿



拉伯数学家没有继承丢番图的做法，始终用语言叙述他们的解法。

由于数理天文学的需要，阿拉伯人继承并推进了希腊的三角术。其学术主要来源于印度的《苏利耶历数全书》等天文历表，以及希腊托勒密的《大汇编》、梅尼劳斯的《球面论》等古典著作。

由于天文计算的需要，阿拉伯天文学家都致力于高精度三角函数表的编造。9世纪的海拜什·哈西卜（约764—870年）在印度人的基础上制定出间隔为15′的60进制正弦表，并且还编制了间隔为1° 的正切表。正切、余切函数的引入，导源于古代的立竿测影，中国唐代的一行（683—727年）在编制的《大衍历》中所立“九服晷影”，就是关于不同地理纬度处晷影、漏刻长度的表格算法，其中用到了与正切表等价的影长数表，可视为最早的正切表。艾布·瓦法（940—997年）在哈西卜的基础上进一步编制出间隔为10′的正弦表和正余弦表，特别是比鲁尼（973—1050年）利用二次插值法制定了正弦、正切函数表。

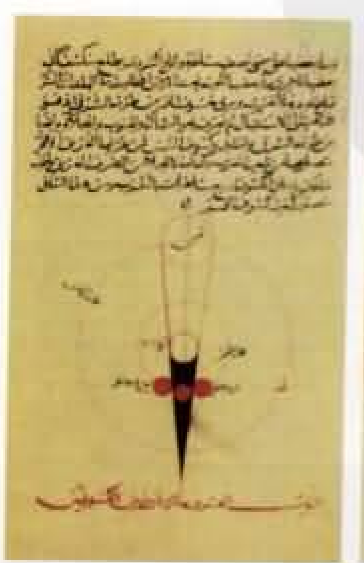
对希腊三角学加以系统化的工作是由9世纪天文学家阿尔·巴塔尼（858—929年）做的，而且他也是中世纪对欧洲影响最大的天文学家。其《天文论著》（又名《星的科学》）被译成拉丁文后在欧洲广为流传，哥白尼、第谷、开普勒、伽利略等人都利用和参考了它的成果。在该书中阿尔·巴塔尼创立了系统的三角学术语，如正弦、余弦、正切、余切。他称正弦为jība，来源于阿耶波多的印度语术语jīva，拉丁语译作sinus，后来演变为英语sine；称正切为umbra versa，意即反阴影；余切为umbra recta，意即直阴影；后来演变拉丁语分别为tangent和cotangent，

古阿拉伯几何学文献资料

与代数学和三角相比，阿拉伯的几何学成就要低得多，希腊几何学严密的逻辑论证没有被阿拉伯人接受。因此人们认为代数学起源于阿拉伯和印度，而几何学起源于古希腊。

纳西尔·丁的《天文宝库》书影

在天文学方面，纳西尔·丁在其著作中对托勒密的宇宙体系进行了评注，并提出了新的宇宙模型；在数学上，他最早系统地给出了自然数开高次方的一般法则。可见，他的研究成果是建立在天文实践和逻辑性极强的代数思维上的。





首见于丹麦数学家芬克（1561—1656年）的《圆的几何》一书中。而正割、余割是阿拉伯另一天文学家艾布·瓦法（940—997年）最先引入的。

阿尔·巴塔尼还发现了一些三角函数关系式以及球面三角形的余弦定理：

$$\cos A=\cos B\cos C+\sin B\ \sin C\ \cos A$$

艾布·瓦法和比鲁尼（973—1050年）等人进一步丰富了三角学公式。艾布·瓦法的重要天文学著作《天文学大全》继承并发展了托勒密的《大汇编》，其中除一些精细的三角函数表外，还证明了与两角和、两角差、倍角和半角的正弦公式等价的关于弦的一些定理，证明了平面和球面三角形的正弦定理。比鲁尼曾经得到马蒙哈里发的支持，在乌尔根奇建造天文台并从事天文观测，是一位有146部著作的多产学者。其《马苏德规律》一书，在三角学方面有一些创造性的工作，如他给出了一种测量地球半径的方法。他的做法是，首先用边长带有刻度的正方形测出一座山高，再于山顶悬一直径可以转动的圆环，从山顶观测地平线上一点，测得俯角，从而算出地球半径。比鲁尼算得1°的子午线长为106.4～124.2公里。

如果说希腊以来，三角学仅是天文学的附属的话，那么这种情况在纳西尔·丁那里发生了一些改变。1201年纳西尔·丁

比鲁尼纪念邮票与他的数学著作（左、中）

三角学在阿拉伯数学中占有重要地位，它的产生与天文学密切相关，阿拉伯人的三角学发展是建立在印度人和希腊人工作的基础之上的。在三角学方面作出贡献的阿拉伯数学家比鲁尼，他用二次插值法制定了正弦、正切函数表，丰富了三角公式。

阿拉伯的第一张地图

此地图为花剌子米与他人共同编制。在他的主持下，阿拉伯地理学家已测得地球子午线每一度长度为133.35公里，并计算出了地球的周长和直径长度，而这些地理学成就的出现是与当时数学的发展紧密相关的。







出生于伊朗的图斯，生活于十字军和蒙古人的侵占时代，是一位知识渊博的学者。由于蒙古伊儿汗帝国的君主旭烈兀十分重视科学文化，纳西尔·丁受到他的礼遇。纳西尔·丁建议在马拉盖建造大型天文台得到旭烈兀的允许和支持，其后他一直在这里从事天文观测与研究。他的天文学著作《伊儿汗天文表》（1271年）是历法史上的重要著作，其中测算出岁差51"/年。其著作《天文宝库》对托勒密的宇宙体系加以评注，并提出新的宇宙模型，对后世天文学理论的形成具有一定的启发作用。他的《论完全四边形》是一部脱离天文学的系统的三角学专著，于是三角学成为一门独立于天文学的纯粹数学分支。所谓“完全四边形”，即指两两相交的平面上的四条直线或球面上的四条大圆弧所构成的图形。该书系统阐述了平面三角学，明确给出了正弦定理；讨论球面完全四边形；对球面三角形进行分类，指出了球面直角三角形的6种边角关系。

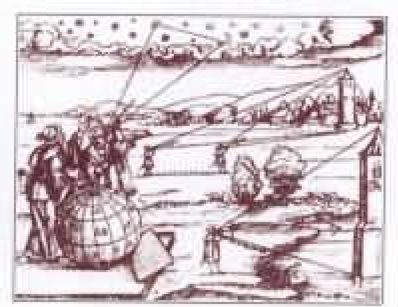
该书讨论了解平面和球面斜三角形的一些方法，引入极三角形的概念以解斜三角形；指出在球面三角形中，由三边可以求三角，反之，由三角可以求三边，这是球面三角与平面三角的一个重要标志。纳西尔·丁的《论完全四边形》对15世纪欧洲三角学的传播与发展有着非常重



阿拉伯学者在研究天文学、地理学

阿拉伯的代数学、三角学、地理学、天文学在发展脉络上是成一个体系的，每种学科之间都相互影响。







穆斯林勘测海域、天象

图为古阿拉伯勘测家利用三角尺在勘测海域、天象。阿拉伯三角学知识的发展，给他们的观测和绘图带来很大方便。







组成一个星盘的部件

阿拉伯的生物学著作

与代数学、医学、化学相比，阿拉伯人在生物学上的贡献比较有限，但当时还是出现了比较有名的生物学家阿尔·迪内瓦利和阿尔·杰海土。前者是世界上第一个记录鸟类迁徙活动的人，后者则提出生命是从矿物质到植物、动物，最后到人类的"进化论"理论。

韦　达

韦达，16至17世纪法国的一位数学家，在方程论、三角学和几何学方面有不少成就。

《算术和代数论著》书影

花剌子米的这一数学名著的拉丁文译本，直到文艺复兴时期还被作为教科书，在欧洲的很多大学中广泛使用。

要的作用。

与希腊人三角术的几何性质相比，阿拉伯人的三角术与印度人一样是算术性的，例如：由正弦值求余弦值时，他们利用恒等式$\sin^2 a + \cos^2 a = 1$作代数运算而求解，而不是利用几何关系推算，这是一种进步。他们和印度人一样，用弧的正弦而不用双倍弧的弦，正弦（或半弦）的单位取决于半径的单位。

与阿拉伯人的代数学成就和三角学成就相比，他们的几何学工作显得薄弱。阿拉伯人在几何方面的工作主要是对希腊几何的翻译与保存，并传给了欧洲。他们主要受欧几里得、阿基米德、阿波罗尼斯、海伦和托勒密等人的影响，希腊几何学对阿拉伯数学的严格性产生了一定的作用。他们曾经对《几何原本》作过评注，其第五公设引起了他们的注意，不少人试图证明这条公设，如焦赫里（约830年）、著名学者塔比·伊本·库拉（约826—901年）、伊本·海塞姆（约965—1040年）、奥马·海亚姆以及纳西尔·丁等人。

奥马·海亚姆在其《辨明欧几里得公设中的难点》（1077年）中，用反证法试图证明平行公设。在证明过程中，实际上引用了与第五公设等价的假设：两条直线如果越来越近，





阿尔·巴塔尼

阿尔·巴塔尼，中世纪阿拉伯的天文学家、数学家，出生于土耳其。他从代数角度出发研究了多种三角关系式和各种斜三角形的解法，发现了球面三角的余弦定理。

那么它们必定在这个方向上相交。

后奥马·海亚姆的证明被纳西尔·丁所继承。纳西尔·丁在他的两种《几何原本》译注中都讨论了平行公理，其《令人满意的论著》一书是关于平行公设研究的专著。



实际上，纳西尔·丁的证明没有考虑到折线向左延展过程中越来越密，以至永远不能超过ab的中点，更不用说到达da边了。17世纪英国数学家华里司（1616—1703年）再次研究了纳西尔·丁的这一证法。

阿拉伯人关于第五公设的这种兴趣与尝试，诱发了后世欧洲学者在这方面的兴趣，对非欧几何的诞生有一定的影响。



阿拉伯人的礼物

Episode Ⅲ

比鲁尼

比鲁尼研究流体静力学，还测定了物质的密度。他的诸多思想超越了时代的界限，直到近代才被科学家确定其诸多观点的正确性。

阿拉伯帝国时期，穆斯林在物理学方面取得的成就主要在光学、力学（动力学），以及对物质本质的认识上。在力学方面，他们对物理学的运动与惯性、时间与空间的概念的认识，和对抛物体运动和重力作用的研究，为以后经典力学的建立做了必要的铺垫。他们还认为，在世界产生以前，原始状态的物质是由具有空间范围的、分散的"原子"构成的。在光学上，阿拉伯帝国的物理学家提出了光线来自观察的客体，光是以球面形式从光源发射出来的，进而认识了光线的反射和折射现象。这一时期，阿拉伯世界

阿拉伯的农学

早在12至13世纪，阿拉伯人就开始著作农业方面的书籍，并存有《农民之书》一书。该书论述了果树的栽培技术以及土壤成分等，对如何防治病害也有说明。图中植物学家伊本·穆罕默德正在观察天气对农业的影响。



出现了一大批优秀的科学家，他们以严谨务实的科学态度和不断探索的科学精神著称于世，给后人留下了珍贵的“物理学礼物”。

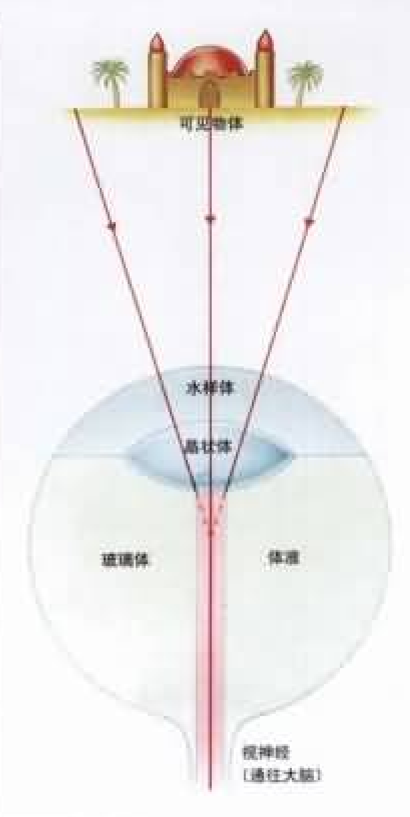
金迪（约801—873年），伟大的物理学家，同时还是数学家、天文学家、哲学家、化学家和音乐理论家，一生至少著有265部以上的学术著作，但是传世的只有15部拉丁文译本。它们是关于气象、比重、潮汐、（几何）光学、以及音乐理论等方面的论述，许多内容与物理有关。

塔比特（826—901年），静力学的奠基人，他写了一部研究杠杆的力学著作——《杠杆的平衡》，成功地证明了杠杆的平衡原理。

比鲁尼（973—1050年），研究过流体静力学与物体的瞬间运动和加速度；他不仅发现光的传播速度快于声音，精确地测定了不同类型宝石的比重，并且为所有已知的复合物与物质元素建立了比重表，例如：他测得金的比重为19.05～19.26，铜为8.72～8.83，水银为12.74～13.59，与实际值相差不大，另外，还正确地解释了喷泉与自流井的成因……

哈兹尼，是继塔比特后研究杠杆平衡的最重要的科





阿尔·哈桑视觉“干涉”理论中的视圆锥与眼睛示意图

对于“视觉”，古希腊学者将其看成是一个物质的过程，有一种难以捉摸的物质在观者和物体之间流动，而且物质是从人眼中流出，柏拉图称之为“火”。对于“黑暗存在”的解释，柏拉图说，只有与阳光混合，“火”才能被激活，这就是古希腊的光的“发射说”。

潜心创作《智慧秤的故事》

哈兹尼发明了“智慧秤”并在1137年写成此书。“智慧秤”的发明，对他后来提出“物质的质量与重量不同”这一理论，在实践中起了很大的作用。









哈森的光学研究成果（左）

哈森的研究，写成了很多光学和天文学书籍。图为哈森对光学实验研究留下的著作。

阿维森纳医学历程（中）

在医学研究上，阿维森纳提出"感染"是产生疾病的原因，而且指出水和土壤是传播感染的媒介；在治疗恶性肿瘤上，他认为医生要在早期给予及时治疗，确保病变组织不扩散。此图描绘了阿维森纳得到神灵相助，是根据当时人们的传说所绘。

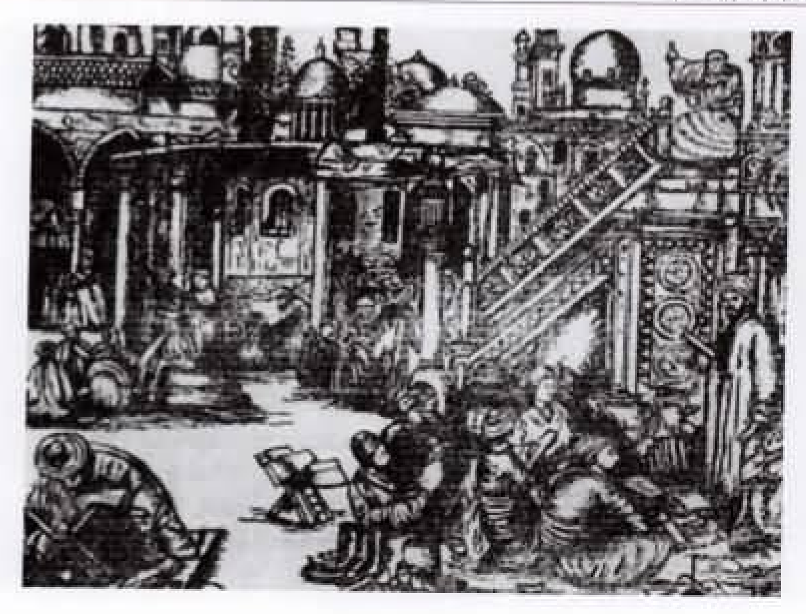
《论视觉》一书内页（右）

哈森认为，人的眼睛并不发射光线，人之所以能看到物体，是因为物体反射的太阳光到达人眼。而科学史上的"网膜"、"角膜"、"玻璃状体"等词也是哈森首创。

学家。他设计出一种奇妙的"智慧秤"，这种秤在没有砝码的情况下也能测量物质的重量和比重。为此，他在1137年还写了《智慧秤的故事》一书。哈兹尼对比重的研究卓有成效。他发现空气具有重量，使得阿基米德的浮力定律在空气中也能适用。哈兹尼还发现并证明了越接近地心，水的密度越大。他知道物体在不同高度测量的重量是不同的，进而提出了一种重要的物理学思想——物质的（质）量不同于重量，而且二者之间的关系是正比关系。

阿维森纳（980—1037年）不仅在医学上作出卓越的贡献，而且还颇富独创性地定义了诸如杠杆、滑轮和滚筒等机械装置，并且把它们做了分类。倾角的概念也是阿维森纳提出的，借以解释物体的抛线运动，而这正是亚里士多德物理学的薄弱环节。

阿尔·哈森（965—1040年），为光线的物理学特性及几何光学奠定了基础，被称作"光学之父"。他不仅说明光在同一物质中是沿直线传播的，还研究了光的反射和折射，并且通过实验指出，垂直穿透不同介质之间界面的光线是不弯曲的。他甚至拥有一台可以制作透镜与



哈森与助手在进行光学实验

通过大量的光学实验，哈森认为光线在不同介质的交界面发生折射时，入射光线、折射光线以及法线是在同一平面内的。而在球面镜等的研究中，他还发现透镜的曲面能使光线发生折射。



阿尔·哈森

阿尔·哈森在著作中对针孔成像的应用和反射定律的原理作了论述，将世界摄影术的发展推进了一步。

研磨镜片以供实验使用的车床。他在实验中不但研究平面镜、球面镜、柱面镜和抛物面镜，而且研究球面像差和透镜的放大率。例如哈森发现透镜的放大作用是由于光线穿过玻璃与空气的交界面造成的，进而设想正是玻璃的弧度（透镜曲率）导致放大作用的产生。大气折射也是他研究的范畴。在光学研究中，哈森善于应用数学方法解决几何光学的问题。暗箱成像实验也是哈森设计的，他正确解释了暗箱的成像原理，由此被称为“照相摄影”的先驱。哈森的关于球面像差、透镜的放大率和大气折射方面的发现通过开普勒等人的介绍，对欧洲科学的发展有很大的影响。

哈森的一项重要贡献是对视觉原理的阐释。在哈森以前，人们一直坚信古希腊学者柏拉图和欧几里得提出的“视觉是由于眼睛发射出光线照射于物体上而产生的”这一错误观念。而哈森的观点是：视觉是反射光线通过眼球的玻璃体后落在视网膜上才得到的，而图像则最后产生于大脑。

哈森一生写过大约92部著作，其中主要论题是关于光学、天文、几何或数学。这位伟大的科学家的著作还被译成拉丁语，启发着后来的科学家进一步探寻光学的奥秘。《哈森光学词典》一书（或译作《光学之书》，7卷），公元1270年被翻译成拉丁文，是当时继托勒密之后光学领域最重要的科学成就，并且奠定了光学的基础。

根据哈森的光学理论，穆斯林学者还成功地解释了彩虹的成因，即彩虹是阳光在经过大气水珠时发生折射和反射的结果。

除在代数学、三角学、物理学等方面的突出贡献外，古阿拉伯的医学水平也在当时达







到了世界领先水平，出现了当时世界上第一家正规医院以及著名医学家阿维森纳和阿尔·拉兹。

相传穆罕默德曾把神学与医学相提并论，由于这个缘故，中世纪的大多数穆斯林和科学家都特别重视对医学的研究，阿拔斯王朝还特别创立了严格的医师考试制度，并建立了世界上第一所正规医院。十字军东征时，伊斯兰世界的一切先进科技让他们大开眼界，其中修建于巴格达的医疗机构尤让他们叹为观止。直到13世纪，欧洲的巴黎才仿照阿拉伯建立了自己的第一所医院，相比已晚了约400年。

由于举国上下对医学的重视，以及在大量翻译活动中，对希腊医学家希波克拉底和盖伦著作的翻译，再加上当时的化学、医学在阿拉伯有了长足进展，名医、名医学家层出不穷。

阿维森纳被誉为"阿拉伯医学之王"，与希腊的希波克拉底和盖伦并称医学史上三位鼻祖。他所编著的一部百万字百科全书式医术著作《医典》，全面、系统地讲述了解剖学、生理学、治疗学、药物学、卫生学，以及饮食学等多方面的医学理论，成为阿拉伯医学的最高成果。该书在12世纪被译成拉丁文传播于欧洲，直到17世纪都一直被用做欧洲各大学的医教用书。阿维森纳在他的著作中，往往强调膳食营养的重要意义，提出气候和环境对于疾病的重要影响。同时，他还研究心脏瓣膜，发现主动脉有3个瓣膜，瓣膜的张开与闭合配合心脏的收缩与舒张，血液也就在这一过程中在身体内循环。

阿维森纳还是一位亚里士多德式的全才。他不仅在医学上有着骄人的成就，在哲学、天文、数学、地理、生物学等方面均作出过巨大贡献，是阿拉伯世界空前绝后的科学文化伟人。他在哲学方面提出了具体概念和抽象的、逻辑的概念这两种概念，对后来欧洲中世纪的传统哲学产生了重大影响。





世界上第一所正规医院

世界上第一所正规医院是公元850年，由阿拉伯人在巴格达建立。早期阿拉伯帝国对医生的行医条件要求非常严格，他们必须通过考试才能开业行医。

阿拉伯医学之王——阿维森纳

阿维森纳是中世纪时期哲学家、科学家和医学家，著有《医典》一书。他的医学名著是在他游历过世界，研究古希腊、印度、中国、阿拉伯医学的基础上写成的。

阿尔·拉兹为儿童诊病

杰出的医学家阿尔·拉兹重视儿科和外科，是外科串线法和内科精神病疗法的发明者。图中他正为儿童诊病。

阿尔·拉兹是阿拉伯的另一位杰出医学家兼化学家，被誉为"阿拉伯的盖伦"、"'穆斯林'医学之父"。他担任过阿拉伯帝国首都巴格达医院的院长，在医学上广泛吸收古希腊、波斯、印度和中国的医学成果，创立了新的医疗体系。在外科学、儿科学以及传染病学方面，拉兹积累了丰富的临床经验，而且他还是世界上第一个准确鉴别麻疹与天花的医生。他将毕生的医学成果编成了100多部书籍，为后世留下了宝贵的医学资料，其中最为著名的是《医学集成》，被翻译成拉丁文，长期流传欧洲。



中国中古时期的科学技术

ZHONGGUOZHONGGUSHIQIDEKEXUEJISHU

中国：

《吕氏春秋》中的《上农》、《任地》、《辨土》、《审时》是中国现存最古老的农学论文。

公元前1世纪，用于扬去谷物中秕糠的扇车出现。

西汉成帝时议郎氾胜之著《氾胜之书》，是对黄河流域的农业生产经验和操作技术的总结。

公元50至100年，东汉时编纂成的《九章算术》，是中国古老的数学专著，收集了246个问题的解法。

1世纪，东汉贾逵时创制黄道铜仪，并发现月球运行有快慢，测定了近点月。

1世纪至2世纪，东汉张衡创制成水运浑天仪，在《浑天仪图注》和《灵宪》等书中，总结了当时的"浑天说"。

2世纪，东汉时期，造纸开始成为独立的行业。

2世纪，魏伯阳的《周易参同契》，是世界炼丹史上最早的著作。

3世纪至4世纪，魏晋时期，赵爽的《勾股圆方图注》中列出关于直角三角形三边之间关系的命题共21条。

3世纪至4世纪，魏晋时期，刘徽发明"割圆术"，得π＝3.1416。

3世纪至4世纪，魏晋时期，刘徽的《海岛算经》中论述了有关测量和计算海岛的距离、高度的方法。

5世纪，南齐祖冲之编制《大明历》，首次把岁差计算在内，是中国历法的第二次大改革。

5世纪，祖冲之算出了π的近似值到七位小数。



6世纪30年代至40年代，东魏农学家贾思勰著《齐民要术》。

6世纪，中国六朝时，祖暅提出祖氏定律：若二立体等高处的截面积相等，则二者体积相等。西方称为卡瓦列利原理。

619年，唐朝傅仁钧编制了《戊寅元历》，改平朔为定朔，是中国历法的第三次大改革。

656年，唐朝李淳风等注《"十部算经"注释》。"十部算经"指：《周髀》、《九章算术》、《海岛算经》、《五经算术》等。

7、8世纪，中国唐朝已采用刻板印书，是世界上最早的印刷术。

9世纪中叶，陆龟蒙作《耒耜经》，为中国现存最早的农具书。

10世纪，中国发明了使用火药的火箭。

约公元1041至1048年间，宋朝毕昇发明活字印刷术。

1088年，宋朝苏颂制造水运仪象台，是现代钟表的先驱。

11世纪，宋初曾公亮等编《武经总要》一书中，有火药用作武器的最早确实记载。

1231年，宋朝人发明"震天雷"，这是火炮的雏型。

13世纪中叶前，中国火药传入伊斯兰教国家。

1259年，中国宋朝抗击金兵时，使用一种用竹筒射出子弹的火器，是火枪的雏型。

1276年，元朝郭守敬、王恂、许衡等凭实测创制《授时历》，废除古代历元，是中国历法的第四次大改革。

1303年，元朝朱世杰发表《四元玉鉴》三卷，把"天元术"推广为"四元术"。

1312年，王祯撰《农书》，该书几乎包括了所有传统的农具和主要设施，堪称中国最早的图文并茂的农具史料。

1314年，元寿阳郡监鲁明善撰刊《农桑衣食撮要》，是完整地保存到今天的比较古的一部月令体裁的农书。

1385年，中国明朝在南京建立观象台，是世界上最早的设备完善的天文台。

1622年，徐光启撰写《农政全书》，该书是中国古代农业科学技术集大成的著作。

古代中国的科学技术形成了其独特的风格和体系，其中包含有农、医、天、算四大学科，以及陶瓷、丝织和建筑三大技术，他们是中华民族在科技上的独特建树，至今仍保持着魅力。整个中世纪，中国几乎在所有科学技术领域均超前于西方，从西方文明开始到哥伦布时代，中国的科学技术常常为欧洲人望尘莫及。然而，中国的科技文明在创造了伟大的辉煌之后，却经历了漫长的暗淡时期，这一时期却恰恰是西方科技文明创造辉煌的时代。一进一退间，中国的科技文明落后了好几个世纪。



算之术
——中国的数学
Episode Ⅰ

铜尺、骨尺

古代的量器之一，是用于土方计算等的标准尺。古尺的一端一般刻有小圆孔，用于系绳，尺的正面刻单位度标。秦始皇统一度量衡以后，1尺约等于现今的23厘米，但到明代时1尺约等于32厘米。

从考古出土的彩陶上可以证实，中国古代自“结绳记事”时起，就有了初步的数学，甲骨文、金文中也有记数的符号，如“1”、“11”、“+”等记数法。古代进位制主要是十进位，而且由于建筑的需要，古人对“几何学”的认识也非常早，早期人们使用的石器、骨器、陶器以及住宅、坟墓等，都具有一定的几何形状。于是，在中国古代原始社会晚期对数和形的初步认识的基础上，初等数学开始萌芽。

夏、商、周时期，中国的记数方式以十进位的方式已发展到从1记到万。商代数学系统已比古巴比伦、古埃及同时代的其他地区更先进、更科学。当中国数学发展到春秋战国时，已经达到既有工具，又有符号，还有部分口诀

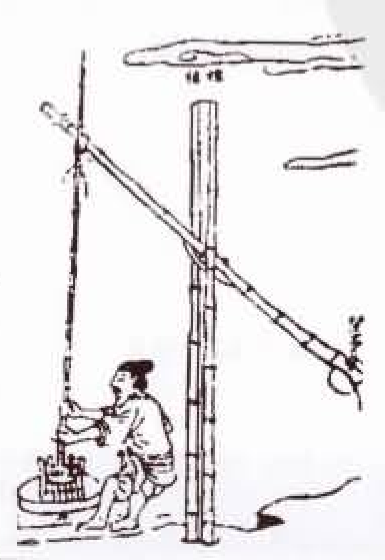
二里头遗址陶器上刻画的符号

结绳记事是上古时代记事的方法，通过在绳子上打结的形状以及数量来记事。后随着生产力发展等因素，结绳记事逐渐被符号记事代替。图中的刻画符号共24种，虽不是文字，但具中国文字的笔画形状。对于这些“天书”符号的破解，专家没有给出准确的解释，但它与文字的产生有一定联系。

的程度，远远领先于同时期的世界其他地区。

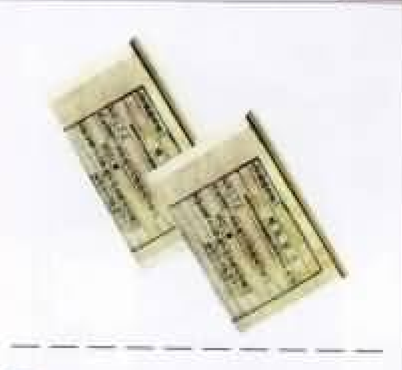
《周髀算经》、《九章算术》 秦汉时期，中国的数学发展加快了速度，许多影响至今的数学专著大量涌现，其中包括中国最早的天文数学专著《周髀算经》、《九章算术》等。作为中国现存最早的一部数学典籍，《周髀算经》记载了古人怎样用简单的方法计算出太阳到地球的距离：先在全国各地立一批8尺长的竿子，夏至日中午，记下各地竿影的长度，得知首都长安的是1尺6寸；距长安正南方1000里的地方，竿影是1尺5寸；距长安正北1000里则是1尺7寸，因此知道南北每隔1000里竿影长度就相差1寸；又在冬至那天测量，长安地方影长1丈3尺5寸。《周髀算经》取夏至与冬至间，竿影恰好是6尺的时候来计算，得出了太阳与地面距离为10万里。当然，现在地球和太阳的距离与《周髀算经》中得到的数值相差悬殊，但是该书采用的运算过程却是正确的。

《周髀算经》是一部既谈天体又谈数学的天文历算著作，主要讨论盖天说，书中提出了著名的“勾股定理”。唐朝李淳风等选定数学课本时，认为它是一个最可贵的数学遗产，就将它作为《算经十书》的第一种书，并取名为《周髀算经》。



竹竿提水 《天工开物》插图

选择粗细两根大竹竿相接，粗竹竿中部架在竹梯上，细竹竿一端系水桶，提水时下拉细竹竿，水装满后通过下压竹梯上的大竹竿，使水桶出井。整个提水系统是利用杠杆原理工作的，按大竹竿架在竹梯上的点的前段和后段存在一定的数字比例关系，这样达到了省力的目的。



《九章算术》书影

《九章算术》成书于东汉和帝时期，它承先秦数学发展的源流，进入汉朝后经许多学者多次删补后成书。古代的数学都是从生产中来，该书就是从土地的测量计算、粟米交换以及仓库体积计算等问题处理中产生的。书中运用了分数运算法则、正负数加减法运算的代数计算方法，这是世界数学史上对分数运算法则和负数的最早记载。

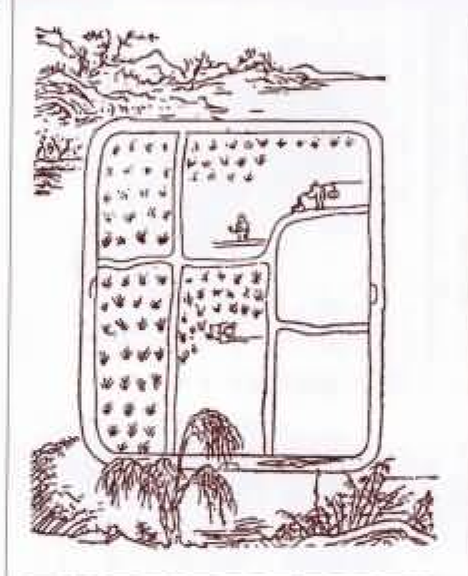




窑穴

原始社会末期，各个村落分布着各种形式的窑穴，以方形和长形居多，形制上一般口小底大，穴口、底、壁的挖掘要求规整，体现了原始人敏感的几何审美水平。





柜田图

明代农学家徐光启在《农政全书》中，将柜田与区田、圃田、圩田、架田、梯田、涂田一起列为中国农耕史上的七大田制。所谓“柜田”，就是筑堤护田，四边开凿涵洞，如果遇到水荒，外水很难流入田地，而田内多余水则较容易引出。《九章算术》“方田章”中提出过各种多边形、圆形、弓形等的面积公式，由此可计算柜田的面积。

和《周髀算经》几乎同时，还有一部数学专著——《九章算术》，这是中国第一部最重要的数学专著。

《九章算术》是中国第一部最重要的数学专著。其大约成书于西汉末到东汉初年间，载有246个应用题目的解法，涉及到算术、初等几何、初等代数等多方面内容。其中所载述的分数四则运算、比例算法、用勾股定理解决一些测量中的问题等，都是当时世界最高科学水平的工作；而关于负数的概念和正负数加减法则的记载，也是世界数学科学史上最早的。书中还讲述了开平方、开立方、一元二次方程的数值解法和联立一次方程解法等许多问题，在中国古代数学史上占有重要地位，在世界数学史上也产生了深远的影响。此后一千多年，它一直被日本、朝鲜作为教科书使用，甚至在欧洲和阿拉伯的早期数学著作中，过剩与不足问题的算法，就被称为“中国算法”。与希腊数学相比，《九章算术》代表的数学体系更注重实际的计算，而不考虑抽象的理论性和逻辑的系统性。从某种意义上来说，中西数学体系呈互补趋势。中国数学经过印度和阿拉伯人传入欧洲，对欧洲代数学复兴产生了深远的影响。

三国两晋南北朝时代，中国历史上出现了两位杰出的数学家——刘徽和祖冲之，为中国数学的发展奠定了牢固的基础。



八角星纹图案

八角星纹图案，在大汶口遗址出土的夏代彩陶器中较为多见。学者研究认为，它是古代天文学的典型符号，其寓意为光芒四射的太阳。也有学者认为是无际的天空，而中央的方形则代表大地，体现“天圆地方”的古代宇宙观。图为史前文化的八角星纹图案及其拓片。

刘徽与割圆术 刘徽，魏晋时期山东人，据《隋书·律历志》称："魏陈留王景元四年（263年）刘徽注《九章》。"刘徽在长期精心研究《九章算术》的基础上，采用高理论，精计算，潜心为《九章算术》撰写注解文字。他的注解内容详细、丰富，并纠正了原书流传下来的一些错误，更有大量新颖见解，创造了许多数学原理并严加证明，然后应用于各种算法之中，成为中国传统数学理论体系的奠基者之一。除为《九章算术》作注外，刘徽还撰写过《重差》一卷，唐代改称为《海岛算经》。刘徽的主要贡献在于：创造割圆术，运用极限观念计算圆面积和圆周率；创造十进分数、小单位数及求微数思想；定义许多重要数学概念，强调"率"的作用；运用直角三角形性质建立并推广重差术，形成特有的准确测量方法；提出"刘徽原理"，形成直线型立体体积算法的理论体系；在例证方面，采用模型、图形、例题来论证或推广有关算法，加强说服力和应用性，形成了中国传统数学风格。



刘徽

东汉以来的数学家都对《九章算术》做过研究，刘徽也为之作过注。他推证了勾股定理，在推证过程中运用的方法为"出入相补法"，只不过具体图形的分合移补与赵爽略有不同。

在《九章算术》注中，刘徽发展了中国古代"率"的思想和"出入相补"原理。用"率"统一证明"九章算术"的大部分算法和大多数题目，用"出入相补"原理证明了勾股定理以及一些求面积和求体积的公式。为了证明圆面积公式和计算圆

方圓闡幽

則古昔齋算學 海甯李善蘭學

第一 當知西人所謂點線面皆不能無體

天地間有色者不能無形有形者不能無體蓋色由形著形由體呈今試以墨作一點于紙上細如微塵此形之至小者也然非憑虛而有乃墨所成既為墨所成則其墨非體乎是故點者體之小而微者也線者體之長而細者也面者體之闊而薄者也

第二 當知體可變為面面可變為線

如圖甲變為乙則體而面矣乙變為丁則面而線矣

方圓一

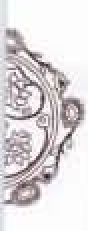
圖只明其大意推之為面使可如紙之薄為線使可如絲之細故盈尺之體由疊紙而得盈丈之線由積絲而成也

第三 當知諸乘方有線面體諸境之理

一乘方為面 二乘方為體 三乘方為線 …… 四乘方復為面五乘方復為體六乘

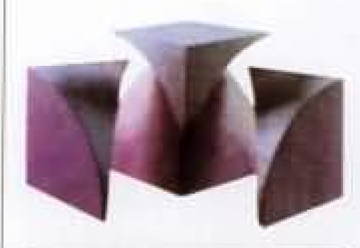
《方圆阐幽》书影
李善兰 清代

《方圆阐幽》是清代李善兰所著，内容是关于幂级数展开式方面的研究。书中提出了"尖锥术"，创立了二次平方根的幂级数展开式以及各种三角函数、反三角函数和对数函数的幂级数展开式。在尖锥术的基础上，解析几何思想和微积分方法开始萌芽。



周率，刘徽创立了割圆术。在刘徽之前，人们曾试图证明它，但是不严格。刘徽提出了基于极限思想的割圆术，严谨地证明了圆面积公式。他还用无穷小分割的思想证明了一些锥体体积公式。在计算圆周率时，刘徽应用割圆术，从圆内接正六边形出发，依次计算出圆内接正12边形、正24边形、正48边形，直到圆内接正192边形的面积，然后使用现在称之为的“外推法”，得到了圆周率的近似值3.14，纠正了前人“周三径一”的说法。“外推法”是现代近似计算技术的一个重要方法，刘徽遥遥领先于西方发现了“外推法”。刘徽的割圆术是求圆周率的正确方法，它奠定了中国圆周率计算长期在世界上领先的基础，祖冲之就是用刘徽的方法将圆周率的有效数字精确到7位。在割圆过程中，要反复用到勾股定理和开平方。为了开平方，刘徽提出了求“微数”的思想，这与现今无理根的十进小数近似值完全相同。求微数保证了计算圆周率的精确性。同时，刘徽的微数也开创了十进小数的先河。

刘徽采用严肃、认真、客观的精神，区别粗糙、错误的论述，创造精细、有逻辑的观点，为后世学人树立了良好的学风。经他注释的《九章算术》影响、支配中国古代数学的发展1000余年，是东方数学的典范之一，与希腊欧几里得的《几何原本》所代表的古代西方数学交相辉映。





“牟合方盖”和祖暅在开立圆术中设计的立体模型

“牟合方盖”是刘徽在研究球体积时引入的一种立体图形。他指出，球与外切牟合方盖的体积之比为π：4，但刘徽没有求出牟合方盖的体积。祖冲之儿子祖暅将“牟合方盖”的体积转化成立方体与相当于一个四棱锥体的体积之差，由此求出体积，在此基础上推算出了球体体积。



木衡和铜环权

中国的度量衡早在四五千年前的父系氏族社会末期就产生了，传说中有黄帝“设五量”，少昊“同度量，调律吕”等，但最初的度量衡单位不精确。而度量单位最初常与人体部位紧密联系，《孔子·家语》中就有“布手知尺，布指知寸”的记载，到战国时期，各国才普遍用金属制器规范了度量衡的单位。图为楚国的小型衡器和一套铜环权。

祖冲之 刘徽之后约200年，南北朝时期又出现了一位大科学家——祖冲之。祖冲之在数学上的杰出成就，是关于圆周率的计算。秦汉以前，人们以“径一周三”作为圆周率，这就是“古率”。后来发现古率误差太大，圆周率应是“圆径一而周三有余”。刘徽用圆内接正多边形的周长来逼近圆周长，计算到圆内接正96边形，π=3.14，并指出，内接正多边形的边数越多，所求得的π值越精确。祖冲之在前人的基础上，求出π在3.1415926与3.1415927之间。并得出了π分数形式的近似值。取两个分数22/7与355/133近似值表示圆周率，其中355/133取六位小数是3.141929，它是分子分母在1000以内最接近π值的分数。祖冲之计算得出的这一密率，直至1000多年后，西方数学家才得出同样的结果。祖冲之还与他的儿子祖暅一起，解决了球体体积的计算。他们当时采用的一条原理是：“幂势既同，则积不容异。”意即“位于两平行平面之间的两个立体，被任一平行于这两平面的平面所截，如果两个截面的面积相等，则这两个立体的体积相等”。这一原理，在西方被称为卡瓦列利原理，但这是在祖氏以后1000多年才由卡氏发现。为了纪念祖氏父子发现这一原理，人们也称这原理为“祖暅原理”。

祖冲之在天文历法方面的成就，大都包含在他所编制的《大明历》及为《大明历》所写的《驳议》中。

祖冲之之前，中国使用的历法是天文学家何承天编制的《元嘉历》，但《元嘉历》对日月的方位、行星的出没和冬至、夏至的时间，推算得都不准确。于是，祖冲之着手制定新历法，南朝宋



祖冲之

他推算出圆周率的范围在3.1415926和3.1415927之间，在数学上第一次把圆周率的数值精确到小数点7位之后，这比西方其他国家计算出的早1000多年。



古人测井

《天工开物》插图

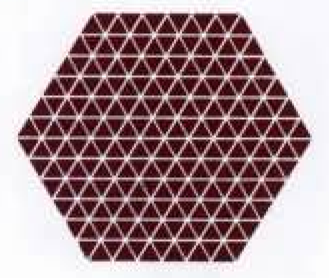
此图描绘了古人用绳子测量井深的场面。将绳子的一端绑在木桩上，另一端绑于下井者身上，井外人根据井中人的吩咐慢慢放绳子，最后根据井底绳和井口绳之间的长度测知井深。

割圆术

圆周率的计算非常复杂，刘徽首创运用割圆术计算圆周率，就是用圆内接多边形的周长去无限逼近圆，他从正6边形开始算起，一直分割到192边形，计算出近似于3.14的数值。









孝武帝大明六年（462年），他编制成了《大明历》。

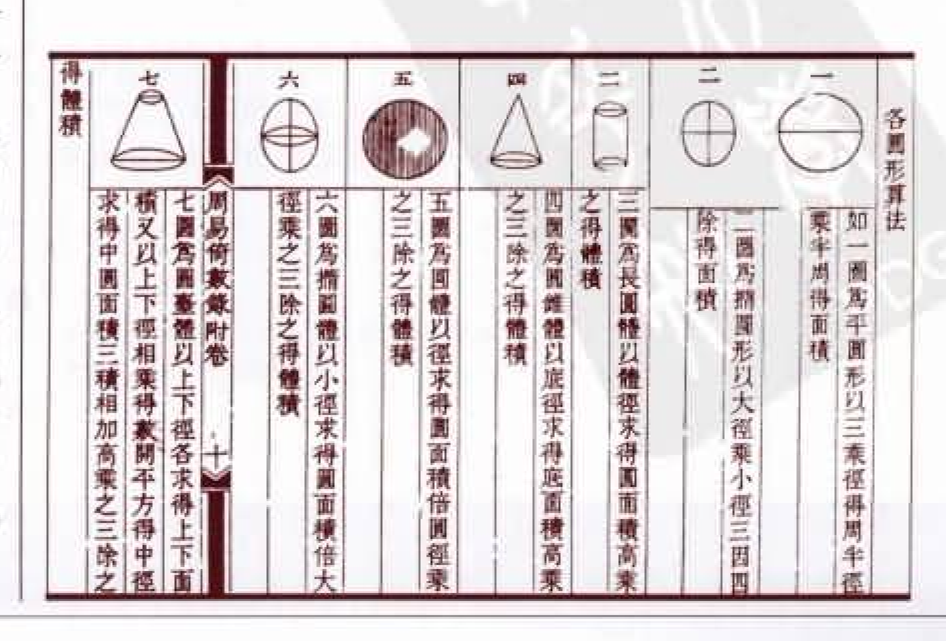
在《大明历》中，祖冲之首次引入了岁差，还采用了391年设置144个闰月的精密的新闰周。这些做法，都是对前代历法的重大改革。他在《大明历》中所采用的一个回归年的天数，跟现代科学测定的天数只相差50多秒；采用的一个交点月的天数，跟现代科学测定的相差不到1秒。在制历过程中，他发明了用圭表测量冬至前后正午时日影长度以定冬至时刻的方法，这个方法为后世长期采用。

为纪念这位伟大的古代科学家，人们将月球背面的一座环形山命名为“祖冲之环形山”，将小行星1888命名为“祖冲之小行星”。

隋唐五代时期，中国的数学科学也有较大的发展。在这一时期，国家创办的学校中设置了数学教育，在科举中也设立了“明算科”。在数学教育中，学生主要学习十部算经：《五曹》、《张邱建》、《夏侯阳》、《周髀算经》、《五经算》、《九章算术》、《海岛》、《孙子》、《缀术》、《缉古算经》等，其中《缉古算经》是唐代著名数学家王孝通的专著。在《缉古算经》中，王孝通已经提出解三次

正策、负策形状

“算筹”是古代最早的计算工具。对于正负数的表示，隋朝时有以三棱形算筹表示正数，四棱形算筹表示负数的记数方法。刘徽在注《九章算术》中提出“正算赤，负算黑，否则以邪正为异”，就是以颜色和形状两种方式的不同，表示正负。正算为红色，截面为三角形；负算为黑色，截面为正方形。



各圓形算法

一 如一圓為平圓形以三乘徑得周半徑乘半周得面積

二 一圓為撱圓形以大徑乘小徑三因四除得面積

三 三圓為長圓體以體徑求得圓面積高乘之得體積

四 四圓為圓錐體以底徑求得底面積高乘之三除之得體積

五 五圓為圓體以徑求得圓面積倍圓徑乘之三除之得體積

六 六圓為撱圓體以小徑求得圓面積倍大徑乘之三除之得體積

周易衍數録附卷 十

七 七圓為圓臺體以上下徑各求得上下面積又以上下徑相乘得數開平方得中徑求得中圓面積三積相加高乘之三除之得體積

《周易》中各图形的计算方法　西周

《周易》是古代的一本占卜书籍，它是运用数的变化去分析和考察事物的现象，以此描述事物的规律。古代数学家研究数学，在探讨“源”时，常常将《周易》看做是数学发展的最早源头。《周易·系辞》有“上古结绳而治，后世圣人，易之以书契”的记载，对我国最早的计数方式作了描述。图为《周易》书中各种图形的计算方法。

（高次）方程的问题。而在同时代有突出贡献的要算是唐高宗时代的李淳风，他注释和校核《算经十书》，对各种抄本进行认真的核对，校正了若干错误，为当时的"算学生"和后人的学习带来极大的便利。而且，在校注的同时，他还把自己对某个数学问题的见解与其他后学者的科学成就以注解的形式附于正文之后，其中最有代表性的是祖暅推导球体积公式的记载，后人有幸能从李淳风的注释中得知。

朱世杰与《四元玉鉴》 宋元是古代数学发展的高峰时期，众多伟大的数学家不断涌现，其中影响最为深远的当属元朝的朱世杰。

13世纪中叶，河北南部和山西南部地区，出现了一个以"天元术"（一种带有中国古代数学特点的代数学）为代表的数学研究中心，朱世杰较好地继承了当时北方数学的主要成就，当时北方正处于天元术逐渐发展成为二元、三元术的重要时期，正是朱世杰把这一成就拓展为四元术的。此外，朱世杰还吸收了当时南方的数学成就——各种日用、商用数学和口诀、歌诀等。1299年乃至1303年，他在扬州刊刻了他的两部数学著作——《算学启蒙》和《四元玉鉴》。

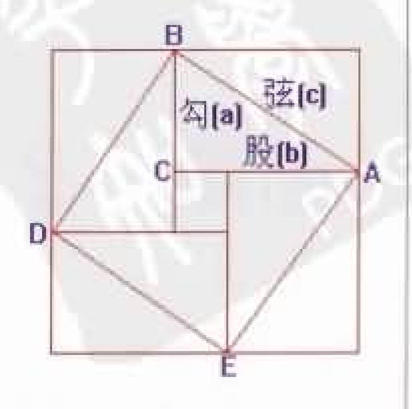
《算学启蒙》全书共3卷，分20门，收入了259个数学问题。全书由浅入深，从整数的四则运算直至开高次方、天元术等，包括了当时已有的数学各方面的内容，形成了一个较完备的体系，可用作教材，是一部较好的启蒙数学书。



28	4	3	31	35	10
36	18	21	24	11	1
7	23	12	17	22	30
8	13	26	19	16	29
5	20	15	14	25	32
27	33	34	6	2	9

阿拉伯数字幻方板 元代

元代安西王府遗址出土。幻方为铁铸板状，共分36格，36个数字为古阿拉伯数字，横、竖各行以及最大对角线数字之和相加均为111，蕴藏着数字排列规律。此铁板也是中国与阿拉伯等国数学交流的物证。



勾股定理 汉代

勾股定理在《周髀算经》中以周公和商高的一段对话形式叙述。其严格的证明是由三国时期的赵爽完成的，他所运用的方法便是传统的出入相补原理。他还用一幅"勾股圆方图"，形数结合对此作了推证：将一个正方形的面积转变为四个直角三角形和一个小正方形的面积之和，根据面积之和相等，由此得出勾股定理。

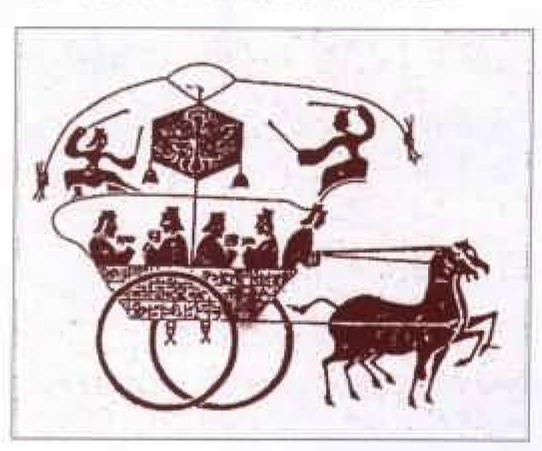


御用数学表 清代

清朝在数学上的成就主要表现在两个方面，一方面是数学家们对传统数学的挖掘与创新，另一方面则是对西方近代高等数学系统的引进。图为清代的御用数学表，专为皇室人员所用。

鼓 车

鼓车，是中国古代能自报行车里数的车辆。车中装有传动齿轮和凸轮杠杆等机械，车行一里，其中一齿轮正好转动一周，轮轴就会拨动车上木人击鼓报告行程。在《宋史·舆服记》中对此车的结构、尺寸和规范有详细的记述。



在全书之首，朱世杰首先给出了18条常用的数学歌诀和各种常用的数学常数。其中包括：乘法九九歌诀、除法九归歌诀（与后来的珠算归除口诀完全相同）、斤两化零歌诀、筹算记数法则、大小数名称、度量衡换算、面积单位、正负数的四则运算法则、开方法等等。

《算学启蒙》从简单的四则运算入手，一直讲述到当时数学的重要成就——天元术（高次方程的数值解法），为阅读《四元玉鉴》作了必要的准备，给出了各种预备知识。

《四元玉鉴》是朱世杰阐述自己多年研究成果的一部力作。全书共3卷、24门、288问。书中所有问题都与求解方程或求解方程组有关，其中四元的问题（需设立四个未知数者）有7问（"四象朝元"6问，"假令四草"1问）；三元的问题13问（"三才变通"11问，"或问歌彖"和"假令四草"各1问）；二元的问题36问（"两仪合辙"12问，"左右逢元"21问，"或问歌彖"2问，"假令四草"1问）；一元的问题232问（其余各问皆为一元）。

可见，四元术——多元高次方程组的解法是《四元玉鉴》的主要内容，也是全书的主要成就。

《四元玉鉴》中的另一项突出的成就是关于高阶等差级数的求和问题。在此基础上，朱世杰还进一步解决了高次差的招差法问题。20世纪美国著名科学史家G.萨顿（1884—1956年）评价朱世杰是"汉民族的、他所生存的时代的，同时也是贯穿古今的一位最杰出的数学家"，说《四元玉鉴》"是中国数学著作中最重要的一部，同时也是中世纪最杰出的数学著作之一"。

但从中国数学发展历史来看，中国数学家从

《四元玉鉴》

《四元玉鉴》全书3卷，分4门，共288题，创造了"四元术"，讨论了解高次方程组的方法，在中国传统的垛积术和招差术研究方面也卓有成绩。

未建立像欧几里得那样的演绎数学体系，且多数在数学方面较有成就的人都被埋没。另外，还有一些数学奇才常年四处漂泊，如宋代的秦九韶、李冶和杨辉，他们每人都著作等身，然而他们彼此互不相识。如此环境使得中国数学研究十分分散，缺乏智力上的连续性。

受以上因素影响，宋元以后，中国数学上高度发展的局面不但没有保持快速发展的势头，反而在明、清时期停滞不前，除了计算技术的普及与数学应用方面有所进步外，整体水平开始落后于欧洲。





国计民生——农学

Episode II

王祯《农书》书影

《农书》共分为22卷，包含《农桑通诀》、《百谷图》、《农器图谱》三部分，其中介绍了农、林、牧、副、渔等各业的技术和经验，记载了多种农作物的种植方法，对丝、棉纺织业等生产工具也有描述。书中绘图306幅，并附有相应的文字说明。



作为一个农业国，中华民族7000多年前就在黄河流域种植粟等农作物，并在长江流域种植水稻。悠久的农耕历史积累了丰富的农学和农业技术知识理论，而农学专著的涌现则反映了中华民族在向大自然进军中所取得的胜利成果。

2000多年来，中国的古农书，包括现存和已经散失的，总计376种之多。其中，《吕氏春秋》中的《上农》、《任地》、《辨土》、《审时》四篇专讲农业，可以说是中国现存最古老的农学论文。其后直到西汉，中国共出现了9部农学著作，除《神农》、《野老》和《氾胜之书》（18篇）外，其余6种均已散失，而《氾胜之书》，也是靠《齐民要术》等的引文，才得以保存一些零星片断的。《氾

畜牧图

对于牛马猪羊等畜禽的饲养，贾思勰认为饮食冷暖要适应它们的天性，并总结出"食有三刍，饮有三时"的经验。他还提出小猪的饲养要补食粟、豆的措施，提醒人们在禽畜饲养中要注意雌雄的比例。



胜之书》总结了西汉中国北方，特别是关中地区的耕作制度，对耕作原理提出了一些基本原则，如“趣时”（赶上雨前雨后最合适的耕地时间）、“务粪泽”（保持土壤肥沃和湿润）、“和土”（耕、锄、耱平，使土壤松软）以及“早锄早获”（及时除草和收割）等。书中还列举了十多种栽培作物，如黍子、谷子、春小麦（旋麦）、水稻、小豆、冬小麦（宿麦）、大豆；油料作物有苴（雌株大麻）和荏（油苏子），以及各种纤维作物和副食。书中对每种作物从选种、播种、收获到储种，都有精确的叙述，突显了当时农业技术的进步。



东汉灭火陶井

水井是随着铁制农具的广泛使用而出现的，它使人们的饮水不再受到江河的局限，此时的井不仅是农家生活的重要水源，也是农业灌溉的重要设施。两汉时期的陶井中带有井栏、井架、滑轮等附件，不仅保证了水源的干净，提水过程中也省了不少力。除井外，汉代也开始了开渠灌溉。图中陶井井台上刻“东井灭火”四字，可见当时人们已具备很强的防火意识了。

《齐民要术》 贾思勰的《齐民要术》是中国现存最早最完整的农书。其中记述了今山西东南部、河北中南部、河南东北部和山东中北部的农业生产，包括了农、林、牧、渔、副等部门的生产技术知识，堪称中国古代的一部农业百科全书。

《齐民要术》共10卷92篇，约11余万字，卷端另有“序”和“杂说”。“序”是全书的总纲。

贾思勰在“序”中援引大量经典和历史故事，反复阐发“食为政首”的重农思想，强调“治国之本，在于安民；安民之本，在于足用”。把农业生产提到治国安民（“农为邦本”）的高度上来认识。只有农业生产发展了，人民的温饱问题解决了，才能“国富民安”。

“食为政首”，是贯穿于《齐民要术》的主导思想。它规定了该书的写作范围和内容，甚至章节安排的次序。从农作物栽培，直至制醋作酱，凡与民生直接相关的生活资料的生产，无不详细记载。



汉代阁楼式陶磨房

汉代已出土冥器有井、磨、猪圈、楼阁、碓房、农田和陂塘等模型，以及猪、羊、马、狗、鸡、鸭等动物偶像，这些都为研究汉代农业提供了资料。在出土的一件西汉陶磨房中，一侧装有杵臼，杵杆的末端有一水槽，显然是以水力带动杵臼的，可见早在汉代就存在利用水力劳作的方式。图为汉代的阁楼式陶磨房。

《齐民要术》的内容极为丰富。卷一，“耕田”、“收种”（以上栽培总论）、“种谷”各1篇；卷二，谷类、豆、麦、麻、稻、瓜、瓠、芋等粮食作物栽培各论13篇；卷三，“种葵”（蔬菜栽培总论）、蔓菁等各论12篇；卷四，“园篱”、“栽树”（园艺总论）各1篇，枣、桃、李等果树栽培12篇；卷五，栽桑养蚕1篇，榆、白杨、竹以及染料作物10篇，伐木1篇；卷六，畜、禽及养鱼6篇；卷七，货殖、涂瓮各1篇（酿造总论）、酿酒4篇；卷八、九，酿造酱、醋，乳酪、食品烹调和储存22篇，煮胶、制墨各1篇；卷十，“五谷果蓏菜茹非中国（北魏疆域以外地区）物产者”1篇，记热带、亚热带植物100余种，野生可食植物60余种。综括了农艺、园艺、造林、蚕桑、畜牧、兽医、选种育种、酿造、烹饪、农产品加工储存，以及备荒、救荒，基本上属于广义的农业范畴，反映了当时农、林、牧、渔、副多种经营方式已具备了较为完整的规模，同时全面、系统地总结了魏晋以来400年间黄河流域旱地农业生产的新经验和新成就。

《齐民要术》一经问世，便引起历代政府的重视。唐、宋以来出现不少农书，无不以它为范本，其中，元《农桑辑要》和王祯《农书》、明徐光启《农政全书》、清《授时通考》均受其影响。《齐民要术》在国外也具有深远的影响。唐宋时期，该



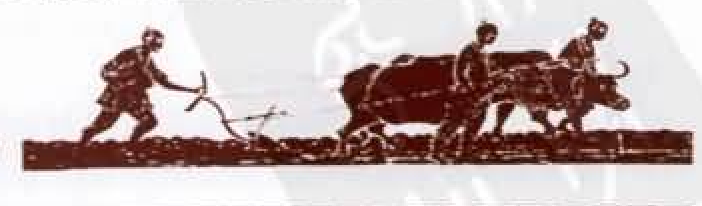
汉代铁犁铧

春秋时期，人们已开始借越礼治，大量铸造青铜器。到秦朝时冶铁业就相当发达，铁制农具得到广泛推广。用于牛耕的铁犁铧的出现，标志着农业生产进入精耕细作的新阶段。



汉代陶仓

陶仓是陶制的随葬冥器，它一般与灶、井、炉等配套出现。汉代人“视死如生”，他们死后会将生前所拥有的器物带入墓室，希望在另外一个世界过同样甚至更富足的生活。图中陶仓上标有各种作物的名字，可见当时的作物种类已相当丰富了。



二牛三人耕田图

西汉时期一般采用“耦犁二牛三人法”。西汉末年出现“二牛一人”抬杠式犁耕法，与之前耕作方法相比，节省劳动力，提高了生产效率。

三角耧车

耧车是用于播种的器械，在汉代时就开始普及。汉武帝时，赵过发明了三角耧，大大提高了生产效率。这种耧车播种时，一人在前面牵牛拉着耧车，一人在后面手扶耧车播种。



书传至日本，引起日本学者的重视和研究；大约19世纪传到欧洲，英国学者达尔文在其名著《物种起源》和《植物和动物在家养下的变异》中就参阅过这部“中国古代百科全书”，并援引有关事例作为他的著名学说——进化论的佐证。

及至明末，中国又出现了一位杰出的科学家——徐光启。

《农政全书》 徐光启（1562—1633年），字子先，号玄扈，相继任礼部右侍郎、尚书、翰林院学士、东阁学士等，最后官至文渊阁大学士。他毕生致力于介绍西方科学，同时注意总结中国的固有科学遗产，编成巨著《农政全书》，成为中国近代科学的启蒙大师。徐光启一生关于农学方面的著作甚多，计有《农政全书》、《甘薯疏》、《农遗杂疏》、《农书草稿》、《泰西水法》等。

《农政全书》分农本、田制、农事、水利、农器、树艺、蚕桑、种植、牧养、制造和荒政等12门，60卷，70余万言，是中国古代农业科学技术集大成的著作。《农政全书》利用历代文



贾思勰与《齐民要术》

贾思勰，南北朝时期北魏人，生于山东益都，曾任高阳太守。他在北魏末年写成《齐民要术》一书，对先前的精耕细作、深耕细耙等成功的经验进行了总结和学习，在恢复战乱时期荒废的华北农业的同时，逐渐将旱地农业生产技术体系化了。

农业谚语与农事安排

中华民族是世界上最早从事农耕的民族之一，大部分农家都是“靠天吃饭”。在长期的劳动实践中，他们逐渐意识到天气变化和季节交替规律对农业生产的影响，制定二十四节气来指导农事。直到现在民间还流传着很多有趣的农业谚语，如“春分春分，好点花生”、“立夏小满家家忙，男女下田去插秧”等。水稻有早晚两茬，对早稻种植民间则有“雨水”种下水、“清明”节插秧、“夏至”收割等说法。











献225种，所涉及的范围极广，记录了劳动人民的生产发明和农学、植物学的知识；早期昆虫学知识、西方水利原理和新式提水工具等也有所记载。

从《上农》、《任地》到《农政全书》，中国古代劳动人民在农业生产实践中积累起来的经验和发明创造，被一本又一本的著作加以概括总结，这不仅对中国农业科学技术的发展作出了贡献，对日本等其他国家也有很大影响。

此外，徐光启与利玛窦合译了《几何原本》前六卷，还有《测量全义》——这是西方三角学及测量术传入中国之始。1629年，徐光启首次应用西方天文学和数学正确推算出日蚀。同年7月，礼部决定开设历局，由徐光启组建，于是一些西方传教士如龙华尼（意大利人）、郑玉函（瑞士人）、汤若望（德国人）、罗雅谷（意大利人），先后参与了中国的历法改革工作。从公元1629年至1643年共完成了《崇祯历书》137卷，主要介绍当时欧洲天文学家第谷的地心学说，数学方面则以平面几何与球面三角的内容居多。



利玛窦

利玛窦，意大利耶稣会传教士，明万历年间来到中国，在南京与徐光启相识。《几何原本》就是由他讲述，徐光启笔译的。



徐光启



南都繁会图卷（局部）

此图描绘了明朝时南京的盛况。画面从左到右展开，从郊区的农村田舍开始入手，以城中的南市街和北市街为中心，描绘了纵横的街市，林立的店铺，拥挤的车马行人等。整个画面描绘不同职业身份的人物达1000多个，商店招牌匾100多个，充分反映了明朝时期商业经济的繁荣。

观天测地——天文学

Episode III

天文学与农学、医学、数学共同构成中国古代最发达的四门自然科学。秦汉时期，中国天文学已经形成了以历法和天象观测为中心的完整体系——特别是在天象观测记录的丰富性、完整性方面，一直处于世界各文明古国的前列。在天文学理论上，人们对宇宙的认识逐步深化，出现了大量天文学家，其中以张衡最为知名。

东方的亚里士多德——张衡 张衡（78—139年）字平子，南阳西鄂（今河南省南阳县石桥镇）人。东汉安帝永初四年（111年），张衡应诏进京，先后任郎中、太史令、公车司马令等职，其中担任太史令长达14年。太史令是主持观测天象、编订历法、候望气象、调理钟律（计量和音律）等事务的官员。在任职太史令期间，张衡对天文历算进行了精心的研究，作出

地动仪模型

地动仪用精铜铸成，外形似酒樽，外表面装饰有篆文、山龟、鸟兽纹。仪器中央立铜制立柱，外部周围铸有八条龙，通过内部通道中的发动机与立柱相连，龙头对准东、西、南、北、东南、西南、东北、西北八个方向，龙嘴内衔小铜球，下蹲八只蟾蜍。当某个地方发生地震时，地动仪内部的立柱倾斜，触动牙机，使发生地震方向的龙头张开嘴，吐出铜球，落到蟾蜍嘴里发出响声。



七月流火图 西周时期

由于生产和生活的需要，古代先民从远古时期就对天象产生了浓厚的兴趣，而随着巫术占卜的兴起，人们对天象观测更为重视，尤其对异常的天象。他们以象授时，根据"日出而作，日落而息"以及"月的圆缺变化"制定出时间单位日和月。图为七月流火图。"七月流火"有的学者认为这是一种天文现象，讲的是"火"星的运动规律。



▲ 张 衡

张衡制作了水力转动的浑天仪和地动仪，撰写了天文学著作《浑天仪图注》、《灵宪》，对古代天文学的发展作出了巨大贡献。

了重大贡献。

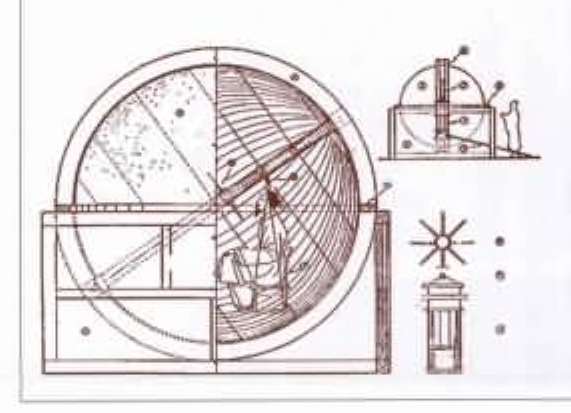
汉朝时，已经出现了盖天说、浑天说和宣夜说三种关于天体运动和宇宙结构的学说。张衡根据自己对天体运行规律的认识和实际观察，认真研究了这三种学说，最后确定浑天说比较符合观测的实际，于是就大胆地对天象提出了许多新的见解。

张衡在西汉耿寿昌发明浑天仪的基础上，根据浑天说，创制了一个能够精确表现浑天思想的浑天仪。浑天仪是一个可以转动的空心铜球。铜球表面刻有二十八宿和其他一些恒星的位置；球体内有一根铁轴贯穿球心，轴的两端象征北极和南极；球体的外面装有几个铜圆圈，代表地平圈、子午圈、黄道圈、赤道圈，赤道和黄道上刻有二十四节气。为了使浑天仪能自动转动，张衡利用水力推动齿轮的原理，用滴壶滴出来的水力推动齿轮，带动空心铜球绕轴旋转。铜球转动一周的速度和地球自转的速度相等。这样，人们坐在屋子里，便能从浑天仪上看到天体运行的情况了。

从公元89年到140年，东汉都城洛阳和陇西一带，共出现过33次地震。特别是公元119年，洛阳和其他地区连续发生了两次大地震，促进了张衡加紧对于地震的研究，并终于在公元

▼ 假天仪

宋代苏颂、韩公廉共同研制的一个能从内部观看星象的设备。在假天仪内按照星星的位置穿凿小孔，人进到球内，自然光会透过小孔射进球体，模拟表演天空的星象。



◀ 浑天说示意图

张衡在《浑天仪注》道：浑天如鸡子，天体圆如弹丸，地如鸡子中黄，孤居于内，天大地小。……天之包地如壳之裹黄。天就像一个鸡蛋，大地像其中的蛋黄，天包着地如同蛋壳包着蛋黄一样。这是对浑天说的经典论述之一。





132年，发明并制造出了中国第一架测报地震的仪器——地动仪。

张衡制造的这台地动仪，相当灵敏准确。公元138年的一天，地动仪精确地测知距离洛阳1000多里的陇西发生地震，表明其精密程度达到相当高的水平。欧洲在1880年才制造出类似的地震仪，距张衡的发明已经晚了1700多年。

在气象学方面，张衡还创造了一种测定风向的仪器——候风仪，又叫相风铜鸟。是在一根五丈高的杆顶安放一只衔花铜鸟，可以随着风向转动。鸟头所对的方向就是风向。这个仪器和欧洲装在屋顶上的候风鸡相似，但是候风鸡是在12世纪才出现的，比起张衡的候风仪晚了1000年。

张衡一生所著的天文学著作，以《灵宪》最为著名。这是一部阐述天地日月星辰生成和运动的天文理论著作，代表了张衡研究天文的成果。它总结了当时的天文知识，提出了不少先进的科学思想和独到见解。例如，在阐述浑天理论的时候，





张衡设计的地动仪及其内部结构

浑天仪

浑天仪是测定天体方位的仪器。又称"浑仪"。"浑天仪"的得名颇为有趣，古人认为天是圆的，就似蛋壳，而星星镶嵌在蛋壳上，地球恰似蛋黄，人们坐在蛋黄上观天象。最初的浑天仪由三个圆环和一个金属轴组成，三个圆环分别命名为"赤道环"、"子午环"和"赤经环"。"赤经环"上装有望筒，可观测天体位置。

地平经仪

地平经仪是用于测量天体的地平方位角的仪器，于康熙十二年制成。该仪器有一个铜制的大圆环（地平圈），环水平放置，上面和侧面刻有四个象限刻度。测量时，旋转横表，使三线与所测天体共面，从横表所指的刻度盘上读出待测天体的方位角。





虽然仍旧保留着旧的地平概念，并且提出了“天球”的直径问题，但是张衡进一步明确提出在“天球”之外还有空间。他说：“过此而往者，未之或知也。未之或知者，宇宙之谓也。宇之表无极，宙之端无穷。”就是说，我们能够观测到的空间是有限的，观测不到的地方是无穷无尽、无始无终的宇宙。此外，张衡在《灵宪》中还算出了日、月的角直径，记录了在中原洛阳观察到的恒星2 500多颗，常明星124颗，叫得上名字的星约320颗。这和近代天文学家观察的结果相当接近。

张衡的另一部天文著作《浑天仪图注》，测定出地球绕太阳一年所需的时间是“周天三百六十五度又四分度之一”，这和近代天文学家所测量的时间365天5小时48分46秒的数字十分接近。

张衡在科学、哲学、文学、绘画等多个领域都有杰出的成就，被西方誉为“东方的亚里士多德”。



▲ 元代的计时工具



▼ 复式漏壶

漏壶是古代主要的计时工具，有泄水型和受水型两种。开始时使用单只漏壶，后来古人发现漏壶内的水量的多少会影响水流速度快慢，从而影响计量时间的精度，于是从漏壶上面多加一漏壶，补充水源，从而发展出多级漏壶，根据壶内箭杆刻度变化计时。图为复式漏壶，壶身刻有制作年份和制作者的名字。

一行——人类第一次实测地球子午线 隋唐时期，中国重新编订了历法，并对恒星位置进行重新测定。僧一行、南宫说等人进行了世界上最早的子午线长度的实测。

一行（673或683—727年）俗名张遂，唐代高僧，亦称“僧一行”，杰出的天文学家，巨鹿（今属河北）人，一说魏州昌乐（今河南濮阳市南乐县）人。

唐代开元十二年（724年），一行建议进行了世界上子午线（经线）一度弧长的第一次实测工作，比阿拉伯天文学家阿尔·花剌子米于814年进行的实测早90年。

一行准备开始观测天象之时，制造了两台比以前更为精密的仪器：一是以铜制成的黄道游仪，这是用来测定日、月、五星在本身轨道上的位置，其特点是仪器上的黄道环和赤道环不是固定在一处，所以能够依据它们的旋转动态，从仪器直接获得答案。另一座天文仪器是依据东汉张衡的浑天仪水力推动原理而制成的水运浑仪，它不但能

显出日、月进行的规律，而且可以自动记时，堪称世界上有史以来最早的一台自动计时器。

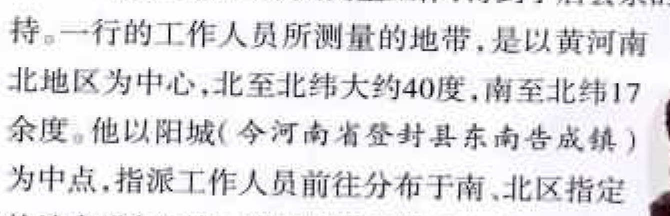


一行

一行，研制出黄道游仪和水运浑仪等大型天文仪器，在此基础上经过推算编成《大衍历》，重测了150多颗恒星的位置，改变了唐朝长期袭用汉代旧值的状况。

通过这两台天文仪器的观察，一行发现当时许多恒星的位置，与古代典籍所载的位置有若干改变。现代天文学称恒星位置的变动为“本动”。西方国家的恒星本动现象最早的发现，归功于哈雷彗星回归期的发现人艾蒙·哈雷（1656—1742年），不过他比一行晚了约1000年。

自汉朝以来，一般从事于天文工作的人，都是在夏至或冬至的正午，以南北两个地点所测的日影长度来做臆断。他们认为假如两地的日影长度相差一寸，则两地的距离是一千里。隋代的刘焯（544—610年）不同意这个理论。他主张在夏至、冬至和春分、秋分时在黄河南北两岸的平地，实测日影在正午的长度。他的计划递呈朝廷，但由于没有人力和经费上的现实援助，刘焯的计划始终没有施行。



一行所领导的天文测量工作，得到了唐玄宗的信任和鼎力支持。一行的工作人员所测量的地带，是以黄河南北地区为中心，北至北纬大约40度，南至北纬17余度。他以阳城（今河南省登封县东南告成镇）为中点，指派工作人员前往分布于南、北区指定的地点进行测候，各处所测的数值与在阳城所测的数值作比较。一行实地测量所获得的成果，终于推翻了过去“损益寸千里”的理论。

此外，一行又根据河南省平原上面四观测地点，计算出子午线长度和北极



晷影堂圭表

晷影堂，建于1446年，位于北京古观象台西南侧，是明代时期的天文台，堂内还设有圭表、漏壶、日晷等天文仪器。图为晷影堂内的圭表，圭表在古代也有“太阳钟”的称号，相传从尧舜到春秋时期，就已经利用立表测影来计时了。



一行测量子午线示意图

通过测量，一行提供了相当精确的地球子午线一度弧的长度，用实测数据否定了历史上的“日影一寸，地差千里”的错误理论。而国外最早的子午线实测是在公元814年，比一行的测量晚了90年。

水运仪

水运仪，北宋苏颂研制，高约12米、宽7米，是一座长方形的木结构建筑。它上下分三层：上层是浑天仪、中层为浑象仪、下层是司辰。仪器最下层的装置中运用了水力驱动系统和齿轮传动机械系统，苏颂所著的《新仪象法要》一书中详述了它的整体功能。

高度的关系。所得的结论是子午线每“度”等于351里又80步的距离。中国传统的“度”是以太阳一昼夜的移动为单位。太阳1年移动一周天365.25°。折算成现代的公制，一行所获得数值是：1°子午线在地球平面的弧长是132.03公里。从现代科学观点来说，这个数值并非很准确。

一行制造新天文仪器，作详细的天文观察，和进行子午线的测量，目的在编制一部新历法，以取代已经不能符合当时天象观测的“麟德历”。他编制新历，大约自开元十二年（724年）开始。一行一方面校验自己所观测的结果，另一方面博览前代的历本，其中最受他重视的，是刘焯的“皇极历”。

以往刘焯认为太阳运行速度有快慢的现象，这是一个很重要的发现，可是他对这种不均匀的运行现象没能充分了解。一行补充他的发现，指出太阳运行的速度是由快渐转慢（即从近日点太阳速度最快时开始），再由慢渐转快（即由远日点太阳速度最慢时开始）。这可以说是一行在天文学上的另一项重大贡献。一行从太阳运行的快慢情况出发，按照不等的时间间隔，安排二十四节气，并推算出相邻两节气间的太阳运行速度。

一行为编订新历法，耗费了6年的岁月，他的新历取名《大衍历》。这个历法推算以上古的一个“日、月、五星如联珠”的时期作为起点，算出“上元阏逢困敦之岁”，距开元十二年甲子岁，岁积9666万1740算。一行所用的“大衍”这个名词已把对



易数的关联表露无遗。

《大衍历》的初稿在开元十五年（727年）完成。同年11月25日，一行在新丰（今陕西省临潼东北新三镇）逝世。

一行逝世后，《大衍历》于翌年（728年）颁行天下，一直到756年，被“至德历”取代为止。

自唐之后，以元代郭守敬的《授时历》为标志，中国古代天文学发展到最高峰。

月亮上的郭守敬山 郭守敬（1231—1316年），字若思，河北省邢台县人，在天文、历法、数学、水利、地理学等方面都有很高的成就，尤其是对天文研究和天文仪器创制的贡献更大。

郭守敬曾主持从通州到北京的运河工程，此河全长164里，忽必烈命名为“通惠河”。

至元十三年（1276年），忽必烈决定改革历法，并委派郭守敬参加历法的制定工作。

元初的天文仪器，都是宋、金时期遗留下来的，已破旧得不能使用了。郭守敬就在原仪器的基础上进行改制，并在实践中重新设计。他在三年的时间里，改制和重新创造了10多种天文



元代观星台

观星台位于登封市城东南，由天文学家郭守敬所建。这座砖石混合结构建筑上小下大，形似覆斗，由表槽、台身和石圭组成，是世界上现存最古老的天文学建筑。郭守敬曾在此重新观测了二十八星宿及其他一些恒星的位置，编制了当时最先进的历法——授时历。



时辰醒钟 清代

明朝后期，欧洲传教士将精美的自鸣钟带入宫廷。此后，清朝宫廷便设置了钟表作坊。图为清代宫廷制作的钟表，以中国传统的1日12个时辰为表盘显示，内部结构与今普通机械钟表相似。



二十八星宿箱

二十八星宿箱是战国时期曾侯乙墓出土的一件漆箱，箱盖上以篆文书二十八宿的名称，漆箱的东西两端绘有苍龙和白虎与二十八宿相配，是我国现存最早的二十八宿及四象形象图。它的出现证实了在公元前5世纪时，我国早已形成完整的二十八宿体系。



郭守敬

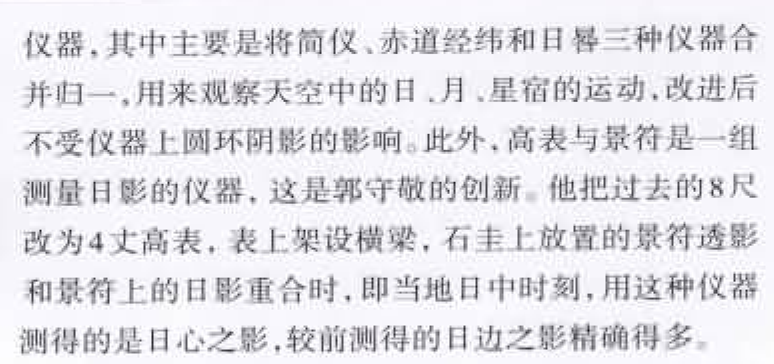
元朝最著名的科学家。从事科学研究事业达60多年，在天文、水利、地理、数学方面都取得了不菲成绩。

仰仪 元代

仰仪，由元朝天文学家郭守敬设计制造。该仪为铜制的空心球面仪器，内部球面刻画一些规则网格，用来量度天体的位置。它是利用直接投影的方法来测量，当太阳光通过半球上一块带孔的板投一个倒影像在坐标上，就可读出太阳在天空中的位置。仰仪的铜口上刻有一圈水槽，可用来注水校正它的水平，增大精确度。

日晷

由铜制指针和石制圆盘组成。太阳光照到晷针上时，在晷面上投下影子，以此分辨时刻。



仪器，其中主要是将简仪、赤道经纬和日晷三种仪器合并归一，用来观察天空中的日、月、星宿的运动，改进后不受仪器上圆环阴影的影响。此外，高表与景符是一组测量日影的仪器，这是郭守敬的创新。他把过去的8尺改为4丈高表，表上架设横梁，石圭上放置的景符透影和景符上的日影重合时，即当地日中时刻，用这种仪器测得的是日心之影，较前测得的日边之影精确得多。

郭守敬参考了1000多年来的天文资料，70多种历法，互相印证对比，按照日月五星在太空运行的自然规律，在至元十七年（1280年）编制成《授时历》。《授时历》推算出的一个回归年为365.2425日，即365天5时49分12秒，与地球绕太阳公转的实际时间，只差26秒。

此外，郭守敬还组织了全国规模的天文观测活动，在全国设立27个观测点。这些观测点遍及全国，东起朝鲜半岛，西抵川滇与河西走廊，南及南中国海，西尽西伯利亚，当时人们称之为“四海测验”。此次观测南北统长5000多公里，东西绵延约2500公里之遥，其地域之广，规模之大，为历史空前。后来法国数学家拉普拉斯在自己





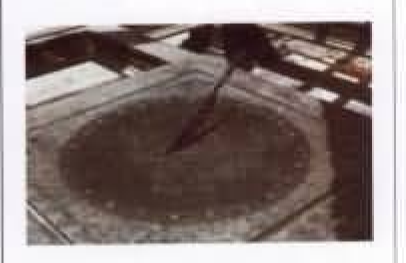


的著作中引用了郭守敬这次观测的结果。拉普拉斯说：公元1279年至1280年期间的观测之所以重要，是由于它们高度的准确性。他称赞郭守敬的测量具有“卓绝的精度”。

数学方面，郭守敬创造了计算球面三角形的算法和平立定三差法。这种高等级算法，在世界数学史上开创了先例。

郭守敬一生编著天文书籍100多卷，创制仪器仪表十七八种；邢州治水、大都（北京）治水，西夏（今甘肃、宁夏一带）治水，黄河探源，为民造福深远，民为之立祠于河渠之上。他是杰出的天文学家，也是卓越的水利专家；既是优异的数学专家，又是具有独特精神的仪器制造专家。他这几个方面的成就，在当时科坛居世界首位。为了纪念这位伟大科学家，国际天文学会将美国在月球上发现的一座环形山命名为“郭守敬山”。1977年，经国际小行星研究会批准，把中国科学院紫金山天文台在1964年发现的编号为2012号小行星，正式命名为“郭守敬星”。











天球仪　清代

天球仪，是清代中叶科学家齐彦槐根据天象制造的计时仪器。它在结构上仿欧洲时钟，用发条作动力，自动运转报时。

铜方日晷　元代

现存南京紫金山天文台，由元代郭守敬设计制造。

简　仪

简仪是郭守敬对浑天仪的简化设计，与浑天仪一样，是一种天文观测仪器。在构造上，它突破了浑天仪环圈交错、不便观测的缺点，将环组分别架立，装置更加简化实用。

《授时历》书影

《授时历》是至元十七年（1280年），郭守敬、许衡奉诏编著，是中国古代使用时间最长的一种历法，在元明两代共使用364年。

中医药学——自成体系

Episode Ⅳ

伏羲氏肖像

伏羲氏，上古时期的"三皇"之一，传说人类是由他和其妹女娲氏相婚而产生。人们认为他大约生活于公元前2900年左右，而且千余年来医界尊奉他为医药学、针灸学的始祖。

中医学是富有中国文化特色的医学，属生命科学范畴，也是中华民族在长期医疗、生活实践中，积累总结逐步形成的一个独特的医学体系。与高度集权的社会相适应，中国医学受到国家的严格管制，行医被视为为公众服务的行为。唐代已经有了太医署，医师要通过严格考试方才取得资格，而宫廷医师的报酬与责任相等。

《黄帝内经》是中国现存最早的中医理论专著。该书系统总结了之前的治疗经验和医学理论，结合当时的其他自然科学成就，运用朴素的唯物论思想，对人体的解剖、生理、病理以及疾病的诊断、治疗与预防，做了比较全面的阐述，初步奠定了中医学的理论基础。《难经》是一部与《黄帝内经》相媲美的古典医籍，成书于汉之前，相传是秦越人所著，其内容亦包括生理、病理、诊断、治疗等各方面，补充了《黄



玉兔捣药拓片 西汉

原画像石出土于山东嘉祥县。玉兔捣药，反映当时人们追求长生不老的风气，那时药物学、医学知识还未完全系统化。

帝内经》之不足。秦汉以来，内外交通日渐发达，少数民族地区的琥珀、麝香犀角、羚羊角，以及南海的龙眼、荔枝核等渐为内地医家所采用；东南亚等地的药材也不断进入中国，从而丰富了人们的药材知识。《神农本草经》就是当时流传下来的、中国现存最早的药物学专著。

"医圣"张仲景 公元3世纪，东汉南阳郡人张仲景（150—219年）在深入钻研《素问》、《针经》、《难经》等古典医籍的基础上，广采众人药方，结合临床著成《伤寒杂病论》。

《伤寒杂病论》的贡献，首先在于发展并确立了中医辩证论治的基本法则。张仲景把疾病发生、发展过程中所出现的各种症状，根据病邪入侵经络、脏腑的深浅程度，患者体质的强弱，正气的盛衰，以及病势的进退缓急和有无宿疾等情况，加以综合分析，寻找发病的规律，以便确定不同情况下的治疗原则。他创造性地把外感热性病的所有症状，归纳为六个征候群和八个辨证纲领，以六经（太阳、少阳、阳明、太阴、少阴、厥阴）来分析归纳疾病在发展过程中的演变和转归，以八纲（阴阳、表里、寒热、虚实）来辨别疾病的属性、病位、邪正消长和病态表现。由于确立了分析病情、认识征候及临床治疗的法度，因此辩证论治不仅为诊疗一切外感热病提出了纲领性的法则，同时也给中医临床各科找出了诊疗的规律，成为指导后世医家临床实践的基本准绳。



《黄帝素问宣明论方》书影

《黄帝素问宣明论方》为刘完素所著。刘完素，字守真，别号宗真子，今河北河间人，金代著名的医学家。此为该书目录页。



《金匮要略》书影

《金匮要略》，张仲景著，是一部以内科杂病为主的临床专著。



《伤寒杂病论》书影

《伤寒杂病论》，张仲景著，一部阐述多种外感疾病的专著，后经晋太医令王叔和整理传世。《伤寒杂病论》112方中，记载饮食药物生姜、干姜、香豉、粳米、葱白、蜂蜜、赤小豆、猪胆汁等17种，由此可见他对食疗的重视。



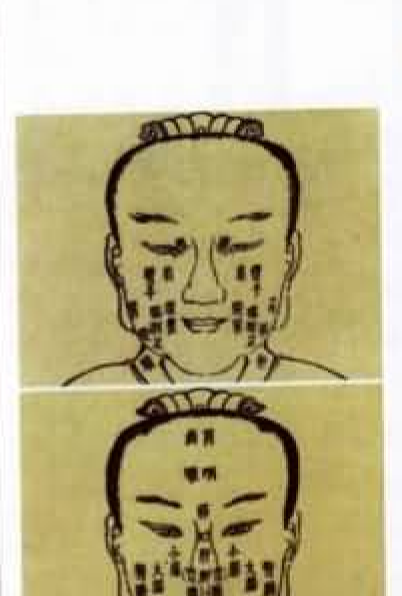
张仲景铜像

食用醋可以调和菜肴，增加鲜香。除此之外，还可以药用，当伤寒流感盛行时，一般家庭都会熬醋杀菌。而早在汉代张仲景所著的《伤寒杂病论》中就有用醋来治疗疾病的记载，那时称之为“苦酒”。此为张仲景铜像，现藏中国中医研究院。

对于治则和方药，《伤寒杂病论》的贡献也十分突出。书中提出的治则以整体观念为指导，调整阴阳，扶正驱邪，还有汗、吐、下、和、温、清、消、补诸法，并在此基础上创立了一系列卓有成效的方剂。这些方剂均有严密而精妙的配伍，其变化之妙，疗效之佳，令人叹服。尤其是该书对于后世方剂学的发展，诸如药物配伍及加减变化的原则等都有着深远影响，而且一直为后世医家所遵循。《伤寒杂病论》也因此被称为“方书之祖”，该书所列方剂被称为“经方”。

《伤寒杂病论》奠定了张仲景在中医史上的重要地位，这是继《黄帝内经》之后又一部最有影响的医学典籍；是集秦汉以来医药理论之大成，并广泛应用于医疗实践的专书；是中国医学史上影响最大的古典医著之一；也是中国第一部临床治疗学方面的巨著。并且随着时间的推移，这部专著的科学价值越来越显露出来，成为后世从医者人人必读的重要医籍。张仲景也因对医学的杰出贡献被后人称为“医圣”。

张仲景的著述除《伤寒杂病论》外，还有《辨伤寒》10卷，《评病药方》1卷，《疗妇人方》2卷，《五藏论》1卷，《口齿论》1卷。



面诊图

面诊是中医诊断的方法之一，具有悠久的历史。中医认为人体内脏器官在面部有一个缩影，古代中医大都利用人面部来诊断病情。图为明代医学家张介宾《类经图翼》中的“肢节色见面部图”。

麻沸散：最早的麻醉剂　张仲景以内科见长，与他同时代的名医华佗则更精于外科。



◀ **名医扁鹊和医和**

扁鹊姓秦，名越人，春秋战国时期渤海人，拜名医长桑君学医，得其真传，并在汲取前代、民间经验基础上掌握了多种治疗方法，成为战国时期的一代名医。医和是与扁鹊同代的秦国医家，他以天人合一、阴阳相生相荡的理论来阐述疾病，并创了中医学理论。

华佗，又名旉，字元化，约生于汉永嘉元年（145年），卒于建安十三年（208年）。他医术全面，尤其擅长外科，精于手术，被后人称为“外科圣手”、“外科鼻祖”。

中国的医学到了春秋时代已经有辉煌的成就，而扁鹊对于生理病理的阐发可谓集其大成。华佗的学问从扁鹊的学说发展而来，同时也对张仲景的学说有深入的研究。华佗循着前人开辟的途径，开创出一片新的天地，其中最突出的——酒服麻沸散的麻醉术的发明和体育疗法“五禽戏”的创造。

利用某些具有麻醉性能的药品作为麻醉剂，在华佗之前就有人使用。华佗总结了这方面的经验，又观察人醉酒时的沉睡状态，发明了酒服麻沸散的麻醉术。这一方法正式用于医学，大大提高了外科手术的技术和疗效，并扩大了手术治疗的范围。麻沸散的组成是曼陀罗花1升，生草乌、全当归、香白芷、川芎各4钱，炒南星1钱。

自从有了麻醉法，华佗的外科手术更加高明，在当时就已能做肿瘤摘除和胃肠缝合一类的外科手术，得到历代推崇。明代陈嘉谟的《本草蒙筌》引用《历代名医图赞》中一诗作了概括：“魏有华佗，设立疮科，剔骨疗疾，神效良多。”

“五禽戏”是一套使全身肌肉和关节都能得到舒展的医疗体操。动作是模仿虎的扑动前肢、鹿的伸转头颈、熊的伏倒站起、猿的脚尖纵跳、鸟的展翅飞翔等。相传华佗在许昌时，天天指导许





▲ **瓷唾盂**

此两件唾盂均出土于四川简阳宋墓。古代养生家称唾液为津液、金津玉液、玉泉、甘露、神水等，张仲景《伤寒杂病论》中指出，治疗伤寒发汗的著名方剂为“麻黄汤”，而它的物质成分是通过研究麻黄汤对汗液、唾液分泌的影响来探讨的。















"五禽戏"保健操

华佗编创的一套养生健身术，是一种模仿虎、熊、鹿、猿、鸟五种动物的动作和神态的功法。坚持做"五禽戏"既可除疾，也可以使手足快捷。

华佗

华佗治病流传着很多故事。相传当时的一位李将军请他替妻子看病，华佗说将军夫人是怀孕伤了身子，胎儿死在肚子里。李将军则说内人小产，胎儿已下来，华佗则说夫人怀的是双胞胎，还有一死婴在肚子中，后经华佗开药、扎针治疗，果然生下死胎，病人身体也迅速康复了。

多瘦弱的人在旷地上做这种体操。

华佗传弟子三人及成就：樊阿善针灸，吴普著《吴普本草》，李当之著《李当之药录》。

药王孙思邈 隋唐时期，由于政治统一，经济文化繁荣，内外交通发达，外来药物日益增多，用药经验不断丰富，对药物学成就进一步总结已成为当时的客观需要。于是，唐代医家孙思邈的《备急千金要方》、《千金翼方》面世。

孙思邈（581—682年），京兆华原（今陕西耀县）人，7岁时开始就学，博闻强记，未及20岁，已成为善谈庄老及百家之说又兼通佛学经典的人，被称为"圣童"。

孙思邈一生大部分时间生活在山区，深感疾病对人的危害之重。他认为"人命至重，有贵千金"，反对医生利用治病之机索取私利。

孙思邈所著的《备急千金要方》（简称《千金要方》），共30卷，分医学总论、妇人、少小婴孺、七窍、诸风、脚气、伤寒、内脏、痈

孙思邈三人明堂图（重绘）
孙忠年设计部芾棠绘图 1992年

唐代之前传统的明堂图，主要指全身腧穴总图，一般为仰人、伏人、侧人三人明堂图。孙思邈所绘明堂图为彩绘，所用颜色与相应经脉的五行属性对应，绘图尺寸按正常人大小的一半高度绘制。明堂图对于认穴针灸治病，具有重要意义。

疽、解毒、备急诸方、食治、平脉、针灸等，共计232门，收方5300个。特别值得一提的是，书中首创了“复方”。《伤寒杂病论》的体例是一病一方，而孙思邈在《千金要方》中发展为一病多方，还灵活变通了张仲景的“经方”。有时两三个经方合成一个“复方”，以增强治疗效果；有时一个经方分成几个单方，以分别治疗某种疾病。

《千金翼方》是对《千金要方》的补编，共30卷，收录了唐代以前本草书中所未有的药物，补充了很多方剂和治疗方法，收载药物800余种。这两部书，合称为《千金方》，是唐代以前医药成就的系统总结，也是中国现存最早的医学类书。



孙思邈

孙思邈，唐代著名道士、医药学家。他从小体弱多病，为筹汤药费几乎荡尽家财。看到周围贫苦百姓无钱治病而死去，他立志做一位济世救人的医学家。隋文帝、唐太宗、唐高宗曾授予他官职，他都一一谢绝，一生隐于山林，潜修医学。

孙思邈有许多独特的贡献，其中，对脚气病的治疗最为擅长。脚气病是由于人体缺乏维生素B_1引起的，这种病多少年来折磨着江南一带群众。孙思邈在学习前人和总结群众经验的基础上，提出一个有奇效而又简便的防治方案，那就是用防己、细辛、犀角、蓖麻叶、蜀椒、防风、吴茱萸等含有维生素B_1的药物来治疗，用含有维生素B_1的谷皮（楮树皮）煮汤调粥常服来预防，这在世界医学史上比欧洲早了整整一千年。

孙思邈特别重视妇幼保健，是创建妇科的先驱。他在《千金要方》中首列妇科3卷、儿科1卷，把妇、儿科放在突出的地位。他还打破当时医学界“各承一业”的陋习，主张用综合疗法治病。他本











孙思邈针治龙王

孙思邈行医治病留下许多神话传说。相传他曾坐于虎背，用针灸术治疗灞河龙王的顽疾，龙王病好后，在民间广行善事。图为清末以此传说绘制的杨柳青年画。



孙真人煎药图

孙思邈十分重视妇幼科。他在《千金要方》中将妇科列为临床各科之首，对妇女的求子、调经以及一些其他妇科的特殊疾病都有记载。此外在养生方面，他则强调了"抑情养性"、"慎言语"、"节饮食"的重要性。

人对用药、用针、用灸都很精熟，对病人不问"贵贱贫富"，不分"昼夜寒暑，饥渴疲劳，一心赴救"。《历代名医图赞》称道："唐孙真人，方药绝伦，扶危拯弱，应效如神。"

孙思邈知识广博，阅历丰富，唐初著名文学家孟诜、卢照邻等人对他皆以师尊之礼相待。他在研究医学的过程中，把硫磺、硝石、木炭混合制成粉，用来发火炼丹，这是中国现存文献中最早的关于火药的配方。他在所著《丹经内伏硫磺法》一文中，记述了伏火硫磺法的制作方法。

孙思邈知识广博，阅历丰富，他的医学著作是集7世纪以前中国医学之大成，充实和扩大了中国的医学宝库，为中国医疗事业的发展作出了伟大的贡献。一千多年来，世人为了纪念他在医学上的丰功伟绩，奉他为药王，把他隐居过的"五台山"也改名为"药王山"。

东方医药巨典——《本草纲目》 一般认为，中国古代的科学技术在宋代达到高峰，明、清就开始衰落了。其实，这只是就其总体而言，对具体每门学科来说，情况就不完全是这样。比如药物学，是在明代后期达到高峰的，其标志就是李时珍的《本草纲目》。

李时珍（1518—1593年），字东壁，号濒湖，蕲州（今湖北蕲春）人，李家世代业医，李时珍14岁中秀才，后经三次乡试落榜，转而行医。

在行医过程中，李时珍发现古代的本草书籍"品数既烦，名称多杂。或一物析为二三，

或二物混为一品”，特别是其中的许多毒性药品，竟被认为可以“久服延年”，而遗祸无穷。于是，他决心重新编纂一部本草书籍。经长时间准备之后，李时珍开始了《本草纲目》的写作。在编写过程中，他脚穿草鞋，身背药篓，翻山越岭，访医采药，足迹遍及河南、河北、江苏、安徽、江西、湖北，以及牛首山、摄山、茅山、太和山等大山，参阅各种书籍800多种，历时27年，终于在1578年写成。

《本草纲目》共16部、52卷，约190万字。全书收纳诸家本草所收药物1518种，在前人基础上增收药物374种，合1892种，其中植物1195种；共辑录古代药学家和民间单方11096则；书前附药物形态图1100余幅。这部伟大的著作，吸收了历代本草著作的精华，尽可能地纠正了以前的错误，补充了不足，并有很多重要发现和突破，它是到16世纪为止，中国最系统、最完整、最科学的一部医药学著作。



李时珍

多次落榜的李时珍，继承家学，开始了对药物的研究。在参考历代医药文献和通过实物考察的基础上，编成了医药巨著《本草纲目》。

要编撰这样一部医药经典，面对浩瀚的本草宝库，如何驾驭、操纵它便成为最关键的问题，可以说这也是李时珍最大的贡献之一。他的《本草纲目》不仅解决了药物检索等问题，更重要的是体现了他对植物分类学方面的新见解，以及可贵的生物进化发展思想。李时珍打破了自《神农本草经》以来，沿袭了一千多年的上、中、下三品分类法，把药物分为水、火、土、金石、草、谷、蔬、果、木、

《千金方》书影

在《千金方》中，孙思邈把医德规范放在极其重要的位置进行了系统阐述。他强调，医生要关心病人，反对利用治病牟取私利。



石药碾

古代中药多为天然植物或矿物质制成，要先经过碾碎，然后烹煎饮用。在古代，石药碾、水盂、香薰器、药碾碗等构成一套系统的医药卫生用具。



传统制药工具金铲、银锅

传统的草本药物很多都要经过研磨碾碎，然后经过煎煮等手段加工而成。李时珍说：“凡煎药并忌铜铁器，宜用银器瓦罐。”李时珍反对用铁器煎药，是因铁器化学性质不稳定，在煎煮过程中药的成分会发生变化。





《本草纲目》插图

《本草纲目》中收录药物1892种，插图有1100多幅，其中还有很多偏方的记载，如大枫子治疗麻风，土茯等治疗梅毒等，并取得了临床上的实践，对一氧化碳中毒、铅中毒等也进行了论述，不愧“天下第一药典”之称，英国达尔文则称之为“中国古代的百科全书”。

陈希夷“二十四气坐功导治病”功法

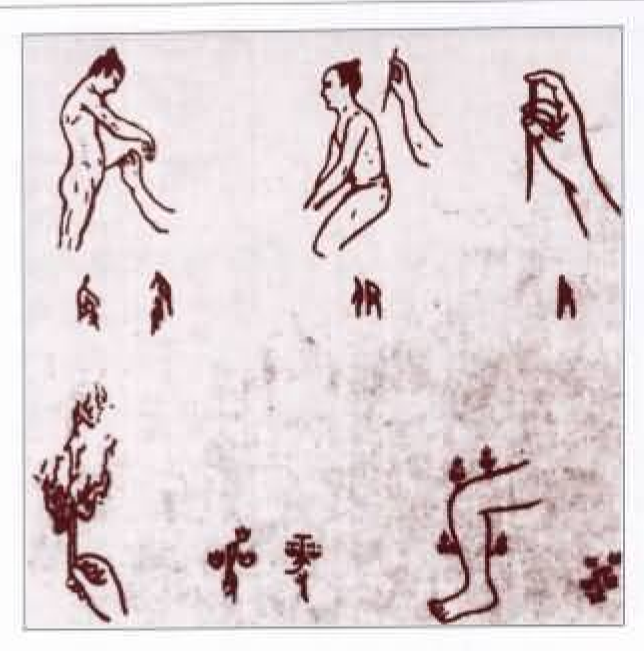
陈希夷，宋初著名养生学家、理学家，他根据二十四节气的气运及其与人体经脉的对应关系，自创了一套“二十四气坐功导治病”功法。图为功法中的“立春三月节坐功图”，可治疗风气积滞等的病症。练习气功可舒活经络，李时珍在《奇经八脉考》中讲道：“内景隧道，惟返观者能照察之”，“内景隧道”是指人体的经络系统，而“返观”很多人则理解为静功修炼。

器服、虫、鳞、介、禽、兽、人共16部，包括60类。每药标正名为“纲”，纲下列“目”，纲目清晰。书中还系统记述了各种药物的知识，包括校正、释名、集解、正误、修治、气味、主治、发明、附录、附方等，从药物的历史、形态到功能、方剂等，叙述甚详。尤其是“发明”这项，主要是李时珍对药物观察、研究以及实际应用的新发现、新经验，这就更加丰富了本草学的知识。

在编排体例方面，李时珍采用以“纲”挈“目”的方法，将《本草经》以下历代本草的各种药物资料，重新进行剖析整理，使近200万字的本草巨著体例严谨，层次分明，重点突出，内容详备，实乃“博而不繁，详而有要”。

《本草纲目》中收载各类附方11096则，涉及临床各科，包括内科、外科、妇科、儿科、五官科等。治疗范围以常见病、多发病为主，所用剂型亦是丸散膏丹俱全，且许多方剂既



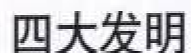


较早的针灸记载

李时珍对针灸学的贡献主要体现在《奇经八脉考》一书中，他总结了前人对奇经八脉的有关论述，并加以考证，对每条奇经的循行和主治病证进行了总结和阐述，补充了经络学说。图为甲骨文卜辞中的针灸记载，学者考证认为，尹、伊、殷、斐、炙五字的甲骨文与其具有某种对应性，“尹”像手执针状，“伊”像执针刺人背状，“殷”像执针刺腹状，“斐”反映了用火针针灸，“炙”像在腹部进行炙灼。

具科学性，又有简便廉验之特点，极具实用性。达尔文在著《物种起源》时，就曾引用过《本草纲目》来说明动物的人工选择问题，称赞《本草纲目》是“中国古代的百科全书”。

公元1606年《本草纲目》首先传入日本和朝鲜。1647年，波兰人弥格来中国，将《本草纲目》译成拉丁文流传欧洲。后来又先后被译成法、德、英、俄等文字，流传世界各地。



四大发明

Episode V

指南车

指南车，又称司南车，是古代指示方向的一种机械装置，相传为三国时期的马钧设计制造。它是利用齿轮传动系统，根据车轮转动，由车上木人手臂指示方向，这与指南针利用地磁效应指向原理不同。

指南针　先秦时代的中国人在探寻铁矿时常会遇到磁铁矿，即磁石。《管子》最早记载了这一发现："山上有磁石者，其下有金铜。"其他古籍如《山海经》中也有类似的记载。磁石的吸铁特性很早就被人发现，《吕氏春秋》九卷"精通篇"就有："慈招铁，或引之也。"

当两块磁铁放在一起相互靠近时，有时候互相吸引，有时候相互排斥。现在人们都知道磁体有两个极，一个称"N极"，一个称"S极"。同性极相互排斥，异性极相互吸引。地球是一个大磁体，它的两极分别在接近地理南极和地理北极处，因此地球表面的磁体，可以自由转动时，就会因磁体同性相斥、异性相吸的性质指示南北。这个道理古人不明白，但这类现象他们很清楚。

司南是指南针的鼻祖，大约出现在战国时期。

春秋时代，人们已经能够将硬度为5至7度的软玉和

慈石

慈石的最早记载是在《神农百草经》中，它的释名又为玄石、处石、铁石、吸针石。慈石能吸铁，就好像慈母在召唤她的儿子，因此得名。经考证发现慈石多产于岩浆岩、变质岩中，在滨海沙中也有存在。



硬玉琢磨成各种形状的器具，因此也能将硬度只有5.5度至6.5度的天然磁石制成司南。东汉时，王充在他的著作《论衡》中对司南的形状和用法作了明确的记录。司南是用整块天然磁石经过琢磨制成勺形，勺柄指南极，并使整个勺的重心恰好落到勺底的正中，勺置于光滑的地盘之中，地盘外方内圆，四周刻有干支四维，合成二十四向。司南的出现是人们对磁体指极性认识的实际应用。

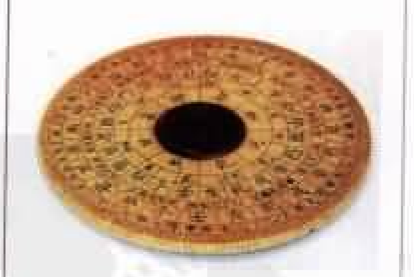


指南针的发明 北宋时，曾公亮《武经总要》中曾记载过一种人工磁化的方法，它利用地球磁场使铁片磁化，即把烧红的铁片放置在子午线的方向上，烧红的铁片内部分子处于比较活动的状态，使铁分子顺着地球磁场方向排列，达到了磁化的目的。北宋的沈括在《梦溪笔谈》中提到另一种人工磁化的方法：当时的技术人员用磁石去摩擦缝衣针，就能使针带上磁性。这是一种利用天然磁石的磁场作用，使钢针内部磁畴的排列趋于某一方向，从而使钢针显示出磁性的方法。摩擦法的发明不但世界最早，而且为有实用价值的磁指向器的出现，创造了条件。



关于磁针的装置方法，沈括介绍了四种：

1.水浮法——将磁针上穿几根灯心草浮在水面，就可以



缕悬法指南针

北宋时期是指南针发展的第二阶段。此时期人工磁体逐渐代替了天然磁石，而另一个改进则是磁针代替了磁勺。缕悬法指南针是将蚕丝的一端用蜡黏在磁针腰部，另一端悬于木架上，底部置一标方位的圆盘构成，很容易受到风向影响，而航海船上更普及指南盘。



明清罗盘

罗盘又称罗经、罗经盘、罗针、罗盘针、指南针盘等，它是在指南针基础上与“二十四山方位盘”合二为一制成的。复杂者有几十层，融阴阳五行之理、八卦河洛之数、天干地支之道、日月星辰之象等哲理于一体。罗盘用途广泛，是适用于天文、地理、军事、航海和居屋、墓葬选址的重要仪器。





指示方向。

2.碗唇旋定法——将磁针搁在碗口边缘，磁针可以旋转，指示方向。

3.指甲旋定法——把磁针搁在手指甲上面，由于指甲面光滑，磁针可以旋转自如，指示方向。

4.缕悬法——在磁针中部涂一些蜡，黏一根蚕丝，挂在没有风的地方，就可以指示方向了。

沈括还对四种方法做了比较，他指出，水浮法的最大缺点是水面容易晃动影响测量结果。碗唇旋定法和指甲旋定法，由于摩擦力小，转动很灵活，但容易掉落。沈括比较推崇的是缕悬法，他认为，这是比较理想而又切实可行的方法。事实上沈括指出的四种方法已经归纳了迄今为止指南针装置的两大体系——水针和旱针。

指南针一经发明很快就被应用到军事、生产、日常生活、地形测量等方面，特别是航海上。《萍洲可谈》中记有："舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦则观指南针。"这是世界航海史上最早使用指南针的记载。到了元代，指南针一跃而成海上指航最重要的仪器，而且还编制出使用罗盘导航，在不同航行地点指南针针位的连线图，叫做"针路"。船行到某处、采用何针位方向、



沈 括

沈括（1031—1095年），字存中，杭州钱塘（今浙江杭州）人，北宋杰出的政治家和科学家。他的科学成就是多方面的，天文上提倡新历法，物理学方面研究指南针的多种制法。在他提出的指南针的四种实验方法中，他认为缕悬法最理想。

宋代霹雳火球

霹雳火球由火药、瓷片和竹子薰制而成，燃放时发出霹雳般的响声。



铜鎏金指南针 清代

清道光以后，指南针大体分为航海指南针和堪舆指南针两种，指南针在技术上没有多大改进。图为清代晚期的铜鎏金指南针。



指南鱼

指南鱼用人工磁化方法制成，指向性比天然磁石制成的司南更精确。制造过程是将薄铁片剪成长二寸阔五分的鱼形，然后放在炭火中烧，随之用铁钳取出，使鱼头朝南鱼尾向北放置，在地磁场作用下，分子重新排列，铁片磁化。



一路航线都一一标志明白，作为航行的依据。

火 药 火药是在适当的外界能量作用下，自身能进行迅速而有规律的燃烧，同时生成大量高温燃气的物质。由硫磺、硝石、木炭混合而成。

早在新石器时代，人们在烧制陶器时就认识了木炭；商周时期，人们在冶金中就广泛使用木炭。硫磺是天然存在的物质，很早人们就开采它。古人掌握最早的硝，可能是墙角和屋根下的土硝。硝的化学性质很活泼，能与很多物质发生反应，南北朝时的陶弘景在《草木经集注》中就说过："以火烧之，紫青烟起，云是硝石也。"此外，硝石和硫磺一度被作为重要的药材，汉代的《神农本草经》中，硝石被列为上品，硫磺被列为中品。虽然人们对硝石、硫磺、木炭的性质有了一定的认识，但是硝石、硫磺、木炭按一定比例放在一起制成火药还是炼丹家的功劳。

炼丹家知道硫、硝、炭混合点火会发生激烈的反应，而且唐代的炼丹者已经掌握了一个很重要的经验，就是硫、硝、炭三种物质可以构成一种极易燃烧的药，这种药被称为"着火的药"，即火药。然而，火药不能解决长生不老的问题，炼丹家对它并不感兴趣。于是，火药的配方由炼丹家转到了军事家手里，就成为中国古代四大发明之一的黑色火药。

火药发明后，首先被制成武器，广泛用于战争。据宋代路振的《九国志》记载，唐哀帝时，郑王番率军攻打豫章，"发机飞火"，烧毁该城的城门，这可能是有关用火药攻城的最早记载。两宋时期，火药武器发展很快。据《宋史·兵记》载：公元970年兵部令史冯继升进火箭法，这种方法是在箭杆前端缚火药筒，点燃后利用火药燃烧向后喷出的气体的



中国早期火药试验

在火药没有被发明之前的冷兵器时代，火攻是军事家常用的一种手段。火药发明之后，应用于军事最初仍然是它的燃烧性能，早期的火药兵器，也没有脱离传统火攻中纵火兵器的范畴，随着火药兵器的进一步实践，它的爆炸性能逐渐被人们利用。



反作用力把箭簇射出，这是世界上最早的喷射火器。公元1000年，宋神卫队长唐福向朝廷献出了他制作的火箭、火球、火蒺藜等火器。1002年，冀州团练使石普也制成了火箭、火球等火器。

火药兵器在战场上的出现，预示着军事史上将发生一系列变革，从使用冷兵器阶段向使用火器阶段过渡。火药应用于武器的最初形式，主要是利用火药的燃烧性能，但随着火药和火药武器的发展，逐步过渡到利用火药的爆炸性能。

硝酸钾、硫磺、木炭粉末混合而成的火药被称为黑火药或褐色火药。这种混合物极易燃烧，而且烧起来相当猛烈，如果火药在密闭的容器内燃烧就会发生爆炸，火药燃烧时能产生大量的气体（氮气、二氧化碳）和热量。原来体积很小的固体火药，体积突然膨胀，猛增至几千倍，这时容器就会爆炸，这就是火药的爆炸性能。利用火药燃烧和爆炸的性能可以制造各种各样的火器。北宋时期使用的那些用途不同的火药兵器都是利用黑火药燃烧爆炸的原理制造的。蒺藜火球、毒药烟球是爆炸威力比较小的火器，到了北宋末年，爆炸威力比较大的火器如“霹雳炮”、“震天雷”也出现了。这类火器主要用于攻坚或守城。公元1126年，李纲守开封时，就是用霹雳炮击退金兵的围攻。金与北宋的战争使火炮进一步得到改进，震天雷是一种铁火器，是铁壳类的爆炸性兵器。


钠盐类化合物芒硝


钙芒硝


无水芒硝


硫化物类矿物雄黄


汞与硫磺炼制成的汞制灵砂


硫化物类矿物雌黄

火药成分

火药的主要成分为硝石和硫磺，以及硫磺的砷化物，除此之外还有炭。古代的炼丹家也是以它们作为药物炼丹的。西汉末年的炼丹书《三十六水法》中，就有用硝石与硫磺、雄黄和雌黄在竹筒中以水法炼丹的记载。

驾火战车

驾火战车，明代的一种独轮的火箭战车，车前有锦帘，可放下挡铅弹，两侧设置六筒火箭，此车需两人操作。



元军攻打金的南京（今河南开封）时，金兵守城就用了这种武器。《金史》对震天雷有这样的描述："火药发作，声如雷震，热力达半亩之上，人与牛皮皆碎并无迹，甲铁皆透。"这是对火药威力的一个真实写照。

宋代由于战争不断，对火器的需求日益增加，宋神宗时设置了军器监，统管全国的兵器制造。史书上记载了军器监当时的生产规模："同日出弩火药箭七千支，弓火药箭一万支，蒺藜炮三千支，皮火炮二万支。"这些都促进了火药和火药兵器的发展。

南宋时出现了管状火器，公元1132年陈规发明了火枪。火枪是由长竹竿制成，先把火药装在竹竿内，作战时点燃火药喷向敌军。公元1259年，寿春地区有人制成突火枪。突火枪用粗竹筒制成，内装"子巢"，火药点燃后产生强大的气体压力，把"子巢"射出去。"子巢"就是原始的子弹。突火枪开创了管状火器发射弹丸的先声。现代枪炮就是由管状火器逐步发展起来的。到元明之际，这种用竹筒制造的原始管状火器改用铜或铁，铸成大炮，称为"火铳"，其中著名的有"虎蹲炮"和"子母连环炮"。"虎蹲炮"为近战炮，自带炮架，全长一尺九寸，内径一寸半，重量不过21.5公斤，"临战放置于地，五百步之内，威不可挡"。"子母连环炮"分子炮和母炮，为明代工匠根据西洋火炮改进。母管腹部有口，子管平时装好火药弹丸，战时，每发一炮，换一子管，可持续发射，射速远超床弩，而威力较投石机不逊，是后代有壳发射炮的始祖。

此外，明代还发明了多种"多发火箭"，如同时发射10支箭的"火弩流星箭"，发射32支箭的"一窝蜂"，最多可发射100支箭的"百虎齐奔箭"等。明燕王朱棣与建文帝战于白沟河，就曾使用了"一窝蜂"。这是世界上最早的多发齐射火箭，堪称现代多管火箭炮的鼻祖。尤其值得提



宋代各式火器

北宋时，火器开始广泛运用于军事领域，它们的杀伤力要远远比冷兵器大，可进行远距离攻击，在古代战争以布阵为主的对战方式中发挥了极大作用。图中展示的是古代火器猛火油柜、竹火器模型以及火箭模型。



悬 障

古代用于守城的一种防御武器，用辘轳、铁索和滑轮操作。士兵站在小木堡内沿城墙外壁上下移动，用手中长5.5米的两刃矛刺杀攀城的敌军。



及的是，当时水战中使用的一种叫“火龙出水”的火器。据《武备志》记载，这种火器可以在距离水面三四尺高处飞行，远达两三里。这种火箭用竹木制成，在龙形的外壳上缚四支大“起火”，腹内藏数支小火箭，大“起火”点燃后推动箭体飞行，“如火龙出于水面”。火药燃尽后点燃腹内小火箭，从龙口射出。击中目标将使敌方“人船俱焚”。这是世界上最早的二级火箭。另外，该书还记载了“神火飞鸦”等具有一定爆炸和燃烧性能的雏形飞弹。“神火飞鸦”用细竹篾绵纸扎糊成乌鸦形，内装火药，由四支火箭推进，它是世界上最早的多火药筒并联火箭，与今天的大型捆绑式运载火箭的工作原理很相近。

针对火器攻击设计的城墙模型

大量火器应用于攻城后，促进防御工程和技术的改进。宋朝时，在瓮城外修筑护城门，城角也从以前较易袭塌的直角城角，改为半圆形。图为针对火器攻击设计的城墙模型，城外有护城河。

火箭的发展，使人产生了利用火箭的推力飞上天空的愿望。14世纪末，明朝的一位勇者万户坐在装有47个当时最大的火箭的椅子上，双手各持一个大风筝，试图借助火箭的推力和风筝的升力实现飞行的梦想。尽管这是一次失败的尝试，但万户被誉为利用火箭飞行的第一人。为了纪念万户，月球上的一个环行山以万户的名字命名。

13世纪火药由商人经印度传入阿拉伯国家，希腊人通过翻译阿拉伯人的书籍才知道了火药。成吉思汗西征，蒙古军队使用了火药兵器。公元1260年，元世祖的军队在与叙利亚作战中被击溃，阿拉伯人缴获了火箭、毒火罐、火炮、震天雷等火药武器，从而掌握了火药武器的制造和使用。阿拉伯人与欧洲的一些国家进行长期的战争，战争中阿拉伯人使用了火药兵器，在与阿拉伯国家的战争中，欧洲人逐步掌握了制造火药和火药兵器的技术。

火药和火药武器传入欧洲，“不仅对作战方法本身，而且对统治和奴役的政治关系起了变革的作用”。“以前一直攻不破的贵族城堡的石墙抵不住市民的大炮，市民的子弹射穿了骑士的盔甲。贵族的统治跟身穿铠甲的贵族骑兵同归于尽。随着资本主义的发展，新的精锐的火炮在欧洲的工厂中制造出来，装备着威力强大的

舰队，扬帆出航，去征服新的殖民地”。

造纸术 有了文字之后，最重要的就是要有一个很好的载体。古代埃及人利用尼罗河的纸草来记述历史；在古代的欧洲，人们还长时间地利用动物的皮比如羊皮来书写文字；而中国在造纸术发明以前，甲骨、竹简和绢帛是古代用来书写、记载的材料。到了汉代，由于西汉的经济、文化迅速发展，甲骨和竹简已经不能满足发展的需求了，从而促使书写工具改进——纸被发明出来。

东汉和帝元兴元年（105年），蔡伦在总结前人经验的基础上，发明了用树皮、破渔网、破布、麻头等作原料，制造成了适合书写的植物纤维纸，使纸成为普遍使用的书写材料。造纸是一项重要的化学工艺，纸的发明是中国在人类文化的传播和发展上作出的一项十分宝贵的贡献。

蔡伦（62—121年），字敬仲，桂阳（今湖南郴州）人，明帝永平十八年（75年）入宫为宦，和帝元兴元年（105年）发明造纸术。安帝元初元年（114年）封龙亭侯。安帝建光元年（121年）去世，葬于封地。

《后汉书·蔡伦传》记载：蔡伦造纸之前，书写记事的“纸”实际上是丝织物（缣帛），蔡伦用树皮、麻头、破布、渔网，经过挫、捣、抄、烘等一系列的工艺加工，制造出植物纤维纸，一种至今大致结构没有改变的良纸，也是真正意义上的纸。蔡伦造的纸被称为“蔡侯纸”，公元105年则被普遍认为是造纸术的发明年代。

造纸术的发明是中国古代最伟大的发明之一，也是人类文明



现代火炮的雏形——抛石机

宋代的大型武器系统中，已明确形成攻防两大类型，而抛石机是一种攻防双用武器，它利用杠杆动力原理制成，可抛石弹，也可抛火球，故古代“炮”可作“抛”或“礮”，经常混用。







史上一项最杰出的成就。纸，是人类文明的基础，它作为一种新的信息载体在中国率先出现，使中国汉代这方面的文明勃兴超过了其他的文明。公元8世纪左右，阿拉伯人才开始用中国的技术和设备造纸。

蔡伦对造纸术的改革和推广，使纸的使用在东汉后日渐增多。从考古发掘出的东汉古纸看，已有不少带有书写字体，而且质量明显提高。这些东汉古纸，或是诗抄，或是书信，或是书札的残部，都是东汉末年的产物，这些古纸具有一定的强度和柔性，厚度与现代机制原稿纸相当，原料为大麻等麻类纤维，纤维交结细匀紧密，且有单面涂布加工，说明当时的造纸工序已相当精细，造纸技术已达到一定水平。

纸的出现和推广，使汉以后的文化生活出现了崭新的面貌。汉中平二年（185年），山东造纸能手左伯（字子邑）造出"左伯纸"，史称"子邑之纸，妍妙辉光"。公元2至5世纪，左伯纸、张芝笔和韦诞墨曾是文人墨士喜爱的文房用品。晋以后，因为经济的发展，造纸术流传到长江流域和江南一带，造纸材料丰富，出现了更多较好的纸。晋代盛行的读书、抄书和藏书之风都得益于纸的普及和推广。抄经热、藏书热和因传抄左思《三都赋》而出现的"洛阳纸贵"，都是纸普及后出现的前所未有的景象。



蔡 伦

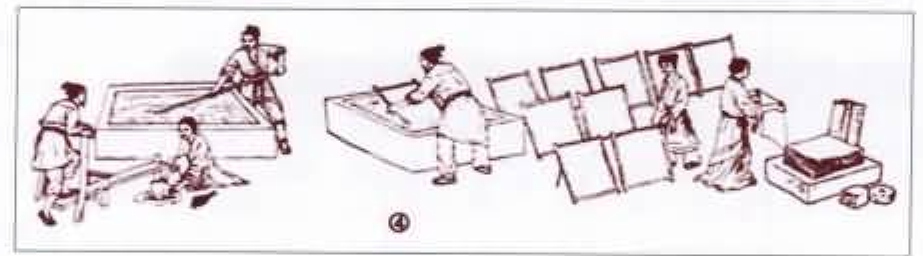
20世纪大量古纸的考古出土，有西安灞桥古墓中出土的"灞桥纸"，甘肃发现的"居延金关纸"，敦煌出土的"马圈湾纸"等。学者研究认为，它们属西汉麻纸。据此资料，他们认为在蔡伦之前就有纸的存在，因此东汉蔡伦是造纸术的改良者，而非发明者。

中国造纸术的外传路线

图中展现了造纸术在世界各地的传播路线。公元610年造纸术经朝鲜东传日本，到公元1180年左右造纸术经阿拉伯人西传入欧洲。廉价耐用的纸张取代了欧洲中世纪长期使用的羊皮纸，促进了欧洲文化的发展。造纸术传入美国的时间更晚。







印刷术 一项科学发明，只要社会上迫切需要它，同时又有产生它的物质条件，那么，它就会很快出现。雕版印刷术的出现就是这样。

在雕版印刷术出现以前，社会上已经广泛使用的是印章和拓碑。印章有阳文和阴文两种，阳文刻的字是凸出来的，阴文刻的字是凹进去的。如果使用阳文印章，印到纸上就是白底黑字，非常醒目。但是印章一般比较小，印出来的字数毕竟有限；刻碑一般用阴文，拓出来的是黑底白字，不够醒目。而且拓碑的过程比较复杂，用来印制书籍也不方便。但是，拓碑有一个很大的好处，那就是石碑面积比较大，一次可以拓印许多字。

在拓碑和印章的启发下，雕版印刷术应运而生。

雕版印刷的过程大致是这样的：将书稿的写样写好后，使有字的一面贴在板上，即可刻字，刻工用不同形式的刻刀将木版上的反体字墨迹刻成凸起的阳文，同时将木版上其余空白部分剔除，使之凹陷。板面所刻出的字约凸出版面1至2毫米。用热水冲洗雕好的板，





▲ 造纸工艺流程

蔡伦的造纸术大体有四个步骤：首先将麻头、破布等原料洗涤、切碎，去除杂物，第二步用弱碱性草木灰水浸沤制浆，第三步舂捣打浆，促使纤维柔化，增强可塑性，增大纸张强度，最后一步则捞取纸浆，用纸模抄纸，湿纸晾干后成样。

◀ 造纸中的伐竹和抄纸环节

竹笋生出后，即将长叶子的嫩竹是造竹纸的最好原料，因此每到芒种时节人们就登山伐竹，一般将竹子截为5到7尺，然后就地开塘灌水漂浸，过100天左右便可槌洗、蒸煮造浆。“抄纸”中最重要的是要注意纸张的厚薄均匀。 此二图出自《天工开物》。

纸名	特色
硬黄纸	以黄纸加蜡处理，质地硬密，呈半透明，防蛀抗水。
白蜡纸	双面加蜡、砑光、纤维束少匀细，可分层揭开，双面书写。
粉蜡纸	兼具粉纸与蜡纸的优点。
洒金纸	将金、银片、银粉装饰在纸上，光泽夺目，价昂。
薛涛笺	以女诗人薛涛为名的桃红色小幅诗笺。
水纹纸	迎光看时，能显出发亮的线纹或图案；平放时纹理图案不显。
使用范围	**用途举例**
官府文书	行政文书用白麻纸，军事文书用黄纸，朝廷致各少数民族地区的高级官员用五色麻纸、青纸。
抄经、书本	敦煌出土的写经中，有部分用的是名贵的硬黄纸。
书画用纸	使用经研光、填粉、加蜡、施胶等加工的熟纸，受墨性好，不致晕染。纸幅加大。
帐、屏风	纸屏风上绘画书法。
糊窗	涂油使明亮及防水。
糊灯笼	代替绢。
其他	纸伞、纸扇、装饰用的剪纸。
衣服	纸衣、纸帽、纸被甚至纸甲、纸冠。
包装	包茶叶、药丸，上面写服食方法。
丧葬用品	冥镪、送葬的纸人、招魂的人胜剪纸、纸棺。

唐代纸张特色用途举例

唐朝时雕版印刷术出现，大大刺激了纸的发展。当时造纸原料有麻、藤、树皮、竹、茧、麦、秆等，造纸原料增加，成本降低，而且根据纸张特色，还决定了不同纸张的用途。

元代转轮排字盘

转轮排字盘，是元代王祯对活字印刷术的改进，除此之外他还发明了木活字。木活字是他为解决问题而发明的，王祯所著的《农书》，字数很多，雕版印刷非常困难，于是他就请工匠创制三万多木活字。

洗去木屑等，刻板过程就完成了。印刷时，用圆柱形平底刷蘸墨汁，均匀刷于板面上，再小心把纸覆盖在板面上，用刷子轻轻刷纸，纸上便印出文字或图画的正像。将纸从印板上揭起，阴干，印制过程就完成了。这种印刷方法，是在木板上雕好字再印的，所以被称为“雕版印刷”。

雕版印刷一版能印几百部甚至几千部书，对文化的传播起了很大的作用，但是刻板费时费工，大部头的书往往要花费几年的时间，存放版片又要占用很大的地方，而且常会因变形、虫蛀、腐蚀而损坏。印量少而不需要重印的书，版片就成了废物。此外雕版发现错别字，改起来很困难，常需整块版重新雕刻。

公元1041至1048年，平民出身的毕昇用胶泥制字，一个字为一个印，用火烧硬，使之成为陶质。排版时先预备一块铁板，铁板上放松香、蜡、纸灰等的混合物，铁板四周围着一个铁框，在铁框内摆满要印的字印，摆满就是一版。然后用火烘烤，将混合物熔化，与活字块结为一体，趁热用平板在活字上压一下，使字面平整，便可进行印刷。用这种方法，印二三本谈不上什么效率，如果印数多了，几十本以至上



千本，效率就很高了。为了提高效率常用两块铁板，一块印刷，一块排字。印完一块，另一块又排好了，这样交替使用，效率很高。常用的字如“之”、“也”等字，每字制成20多个，以备一版内有重复时使用。没有准备的生僻字，则临时刻出，用草木火马上烧成。从印板上拆下来的字，都放入同一字的小木格内，外面贴上按韵分类的标签，以备检索。毕昇起初用木料做活字，实验发现木纹疏密不一，遇水后易膨胀变形，与粘药固结后不易去下，才改用胶泥。

毕昇发明活字印刷，提高了印刷的效率，1965年在浙江温州白象塔内发现的刊本《佛说观无量寿佛经》经鉴定为北宋元符至崇宁（1100—1103年）活字本。这是毕昇活字印刷技术的最早历史见证。

活字制版避免了雕版的不足，只要事先准备好足够的单个活字，就可随时拼版，大大加快了制版时间。活字版印完后，可以拆版，活字可重复使用，且活字比雕版占有的空间小，容易存储和保管。活字印刷术大大提高了印刷的效率。

宋人周必大（1129—1204年）从沈括那里学来了毕昇的方法，印了自己的著作。不过，他也做了一点小改动，把铁板改为铜板。铜板比铁板传热性好，易使粘药熔化。

元代的姚枢（1201—1278年）提倡活字印刷，他教弟子杨古用活字版印书，印成了朱熹的《小学》和《近思录》，以及吕祖谦的《东莱经史论说》等书。不过杨古造泥活字是用宋人



普回向真言

唵 娑摩囉 娑摩囉 弭摩

曩 薩婆訶摩訶斫迦囉 嚩吽

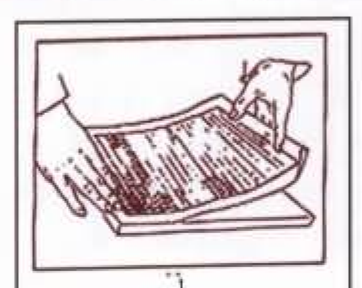


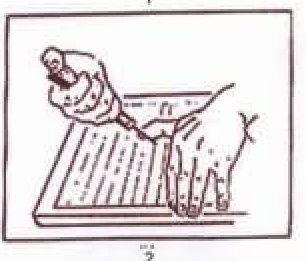
毕昇

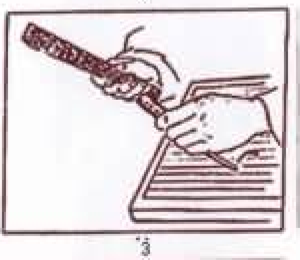
此为中国印刷博物馆内的毕昇雕像。

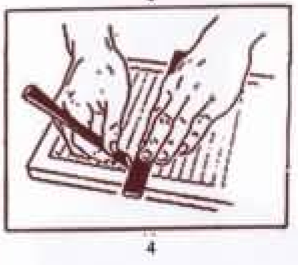
雕版印刷品

雕版印刷据推测应该是在唐朝时发明的，它也是世界上最早的印刷术。而雕版印刷的始祖，被认为是古代的印章和拓碑。


1


2


3


4

雕版制版过程示意图

雕版印刷的工艺流程有三步：第一，雕刻印刷版，首先找书法好的人写版，然后将写好的文书贴于木板表面，由雕刻工人刻板；第二，刷油墨；第三，印刷，就是用纸覆盖于刷好油墨的印刷版面上，然后用刷子轻轻拍打抚平纸面，最后揭下，再用第二张纸重复同样的工作，实现批量印刷。图为制雕版的过程示意图。

改进的技术，并不是活字印刷原有的技术。

与杨古同时代的王祯（1271—1368年）创制了木活字。他在安徽旌德请工匠刻木活字3万多个，于元成宗大德二年（1298年）试印了6万多字的《旌德县志》，不到一个月就印了100部，可见效率之高。这是有记录的第一部木活字印本。王祯在印刷技术上的另一个贡献是发明了转轮排字盘。用轻质木材做成一个大轮盘，直径约7尺，轮轴高3尺，轮盘装在轮轴上可以自由转动。把木活字按古代韵书的分类法，分别放入盘内的一个个格子里。他做了两副这样的大轮盘，排字工人坐在两副轮盘之间，转动轮盘即可找字，这就是王祯所说的"以字就人，按韵取字"。这样既提高了排字效率，又减轻了排字工的体力劳动，是排字技术上的一个创举。

用金属材料制造活字，也是活字印刷的一个发展方向。在王祯以前，已有人用锡做活字。但锡不易受墨，印刷很困难，难于推广。公元十五六世纪，铜活字流行于江苏无锡、苏州、南京一带。铜活字印刷在清代进入新的高潮，最大的工程要算印刷数量达万卷的《古今图书集成》，估计用铜活字达100万至200万个。

中国是印刷技术的发明地，很多国家的印刷技术或是由中国传入，或是受中国的影响而发展起来的。日本是在中国之后最早发展印刷技术的国家，朝鲜的雕版印刷技术也是由中国传入。

活字印刷术

活字印刷术的"活"是针对雕版印刷来说的，平民毕昇用胶泥刻字，然后制成单字的字模。印制书籍时，按照稿件把单字挑选出来，将单个字模排成书的版样，涂墨印刷。字模可以反复使用，灵活简便。









《十竹斋画谱》之花卉（局部）

此图由胡正言于崇祯十七年刊刻，是使用木版水印的代表作，是一项集绘画、雕刻和印刷为一体的工艺。

三大产地的年画印刷

天津杨柳青年画采用的是套色木版水印，然后填色处理，最后在人物面部和衣饰敷粉沥金渲染；苏州桃花坞采用套版印刷，也受胡正言"版"技术和清初《芥子园画传》印刷的影响；山东潍县杨家埠年画最初采用雕版印刷印出轮廓，然后手工填淡彩，最后也发展成套版彩色印刷。

中国的活字印刷技术由新疆经波斯、埃及传入欧洲。1450年前后，德国的谷腾堡受中国活字印刷的影响，用合金制成了拼音文字的活字，用来印刷书籍。印刷技术传到欧洲，加速了欧洲社会发展的进程，它为文艺复兴的出现提供了条件。马克思把印刷术、火药、指南针的发明称为"是资产阶级发展的必要前提"。中国人发明的印刷技术为现代社会的建立提供了必要前提。

泥活字

清代，民间仍有人用泥活字印刷书籍。而在这之前，除元代有过泥活字使用的记录之外，泥活字印刷术几乎被埋没。因为道光年间安徽泾县人翟金生仿效毕昇之法，制造的泥活字。他还用此排印了《泥版试印初编》等书。



和谐宇宙



第三编　近代科学的曙光

中世纪后期，西方资本主义开始萌芽，资产阶级开始兴起，以实验为基础的自然科学新体系开始建立。自16世纪始，科学家们以执着的追求、天才的智慧、求实的精神和顽强的毅力，为人类认识和驾驭自然作出了不懈的努力。17世纪初，西方的科学技术得到了强有力的推动，迎来了近代科学的曙光。

哥白尼的天文学革命

GEBAINIDETIANWENXUEGEMING



中国：

1368年，明太祖朱元璋历禁天文历法。

1482年，俞正己提出对《大统历》的改革意见，被下狱。

1484年，张昇上言改革历法，明朝廷不纳。

1500年，明王朝对天文历法的历禁稍驰，征能通历学者，卒无应。

1528年，明朝廷始立圭表等器具于北京观象台。

约1545年左右，周述学创制浑仪更漏，系由浑象与特殊的报时装置组成的自动演示天象与报时的器具。

1573年至1619年，利玛窦与李之藻合译《浑盖通宪图说》，该书主要介绍星盘的原理，及在星盘上标识认识恒星的方法。

1577年，《天文气候躔次全图》写就，此为专门的星图集，具有识别星空和测时功能。

1584年，侯先春主张以《回回历法》代替《大统历》，以推算日月交食。

1611年，熊三拔与徐光启合译《简平仪说》，介绍专用于测量太阳的仪器——简平仪



的结构。

1612年，王英明撰成《历体略》，介绍传统天文学的若干知识。

1615年，阳玛诺与周希龄、孔贞时合著《天文略》，是中国最早提及天文望远镜及其观测情景的著作。

1623年，意大利传教士龙华民与葡萄牙传教士阳玛诺制成木质油漆彩绘地球仪。

1625年前，徐光启奏请制造象限大仪、纪限大仪等10类28具天文测量或演示仪器。

1626年，德国传教士汤若望译著《远镜说》，介绍伽利略式望远镜的原理与构造。

1628年，葡萄牙传教士傅汎际与李之藻合译成《寰有诠》，全面介绍了亚里士多德在天文学方面的自然哲学思想体系。

1629年，徐光启修订《崇祯历》，其中的星录是当时中国较完备的全天恒星图。

1631年，徐光启第一次使用望远镜观测天象。

约1633年，徐光启经实测并参考西方已有的星表编撰而成全天星表。

1637年，熊明遇《格致草》刊出，该书对传入的西方天文学知识做了更全面的介绍。

1644年，薄珏制成小型演示日月五星运行的仪器。

1645年，中国采用西方的数据，修订《时宪历》，这是中国历法的第五次改革。

1653年，波兰传教士穆尼阁与薛凤祚译成《天步真原》，该书是一部论述日、月、五星位置与日月交食计算方法及原理的著作。

被视为近代科学革命标志的哥白尼日心说，其意义不仅在于颠覆旧的托勒密体系，而且严重威胁到罗马教会的权威及其奉行的经院哲学。“太阳中心说”是人类文明的一大革命，它不仅开启了近代科学的大门、颠覆了宗教的训诲，改变了人类对于自己在宇宙间地位的看法——人所居住的地球在宇宙中不再享有至高无上的地位，也诱发了其他学科的进展。



自然科学的独立宣言——哥白尼与《天体运行论》

Episode Ⅰ

哥白尼　油画

哥白尼是文艺复兴时期著名的科学家，他最为有名的研究成果是提出了“太阳中心论”的观点，颠覆了统治西方天文学界达几百年之久的“地球中心论”学说。

中古时期西方的科学技术与世界其他地区和国家，如中国、阿拉伯等的科技繁荣景象相比，显得暗淡无光，蔑视众生的基督教会傲慢地自信拥有无所不包的真理，也敌视一切凭借理性之光来探索自然知识的人。特别是在中古前期，由于自然经济和基督教神学占统治地位，使得西方科技文化的发展受到了很大的阻碍和抑制，一切文化和科学活动都不能违背基督教教义，不得越雷池半步。

尽管如此，在与蒙昧主义和经院神学的较量中，仍然出现了一些具有前瞻性的杰出学者和科学家。如近代实验科学的先驱、英国人罗吉尔·培根



哥白尼的宇宙观

哥白尼的“太阳中心说”挑战了长期占统治地位的“地球中心说”，这一壮举为天文学的发展奠定了基础。因为浩瀚广渺的银河系，太阳系只是其中的一个组成部分。这就如同“世界存在的固定秩序是伸向无限，我们的知觉认识也只能把握客观现实的微小部分”。这种论述的提出，为文明社会的进步提供了一个理论基石。

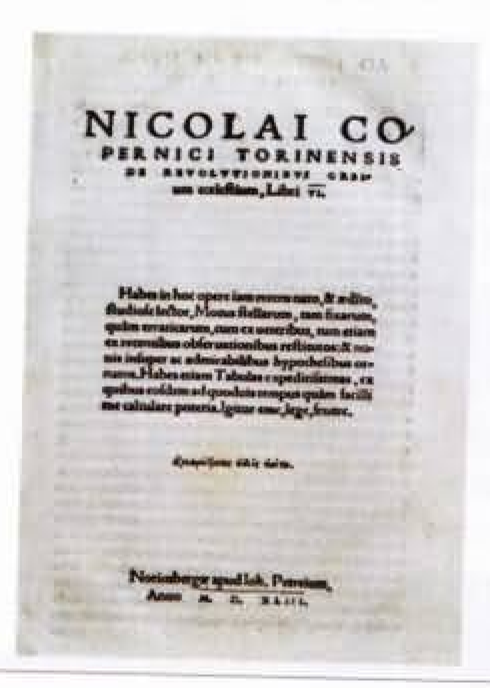
（1214—1292年），勇敢地提出科学要面向自然，注重实验，反对盲目崇拜权威，他认为经验只能认识现象，要证明前人说法正确与否的唯一方法是观察与实验。他做过不少光学方面的实验，总结了光学反射和折射的一般规律，探讨了反射镜、透镜和望远镜的设想，还提出了制造机械推进车船行驶和飞机的可能性。

文艺复兴以后，科学观点的第一次重大改变，是尼古拉·哥白尼（1473—1543年）完成的。他是数学家与天文学家，父亲是波兰人，母亲是德国人。

尼古拉·哥白尼1473年2月19日出生在波兰维斯杜拉河畔的托伦城。中学毕业后，哥白尼在克拉科夫大学读书，其间对数学和天文学发生兴趣，并且养成了使用天文仪器观察天象的习惯。1496年，哥白尼来到意大利学习法律和医学，但他花了大量时间研究理论和实用天文学。

哥白尼逗留意大利期间，被任命为波兰弗劳恩堡总教堂的牧师。1512年，哥白尼来到弗劳恩堡，在那里度过了一生余下的30年。这30年是哥白尼一生最平静的时期，在这里，他构想了他的行星系的细节，对大量复杂的计算作了整理，并且逐步使自己于1512年写过的“太阳中心论”的提纲——《试论天体运行的假设》臻于完善。1516年后，他开始撰写《天体运行论》，直到1530年左右完成这部划时代的著作。

《天体运行论》共6卷，是一部全面系统阐述“太


NICOLAI CO
PERNICI TORINENSIS

钟表状的宇宙

这一太阳系钟表模型是1712年由约翰·罗利制作。此模型展示了哥白尼的“日心说”：太阳处于宇宙的中心，地球和月球绕太阳做圆周运动。受时代的限制，哥白尼的“日心说”仍保留了完美的“圆形”轨道的观点。

《天体运行论》

1543年，哥白尼年老而又多病的时候，在雷蒂库斯的帮助下，他的伟大著作《天体运行论》最终得以发表。他将这本著作献给教皇保罗三世，但是这本书的出版立刻被天主教会查禁，直到1835年才被解禁。



托勒密的宇宙体系

在哥白尼提出日心说之前，统治天文学领域的是托勒密的“地球中心说”。这种学说认为，地球是宇宙的中心，其他行星是围绕地球运行的。



哥白尼的体系

哥白尼在其学说中引入了一种轨道套轨道的烦琐体系：一个本轮的中心在一个均轮上，而另一个小的本轮的中心又在这个本轮上。



天体图　版画

这幅雕刻版画天体图成于1660年，图中地球处于画面的中心，但是没有回到从前的托勒密体系。此图依照月亮、地球、太阳的相对位置，显示出地球上所见月亮的面貌。图的右下角是阳光照耀下各种位置上的半边月亮。

阳中心论”的巨著。第1卷为宇宙论，主要论述了太阳中心说的基本思想；第二卷运用三角学论证天体运行的基本规律；第三卷为恒星表；第四卷叙述地球绕轴运行和周年运行；第五卷论月球的有关问题；第六卷是关于行星运行的理论。在书中，哥白尼提出了“地动说”和“太阳中心说”，推翻了受教会支持的“地心说”理论。《天体运行论》的主要内容是：地球不在宇宙的中心而在太阳轨道的中心；太阳是宇宙的中心，包括地球在内的一切行星轨道都以太阳为中心，太阳是最美丽的天堂，是照亮一切的明灯；行星的视觉运动是地球运动和行星自身运动复合的结果。

哥白尼的体系从一开始就遭到宗教改革者的反对，天主教会直至1616年仍然准备禁止伽利略讲授哥白尼的天文学。然而，这种新的学说仍然广泛传播开来，它的最









早的拥护者之一是乔丹诺·布鲁诺（1548—1600年），一位多明我会僧侣，《论原因、本原和统一》、《论天限性、宇宙和诸世界》、《诺亚方舟》等书的作者。布鲁诺不仅宣传哥白尼的学说，而且还对其理论中的局限性进行了突破，提出了新宇宙论。布鲁诺认为宇宙在空间上是无限的，在时间上是永恒的；宇宙无穷大且没有中心，它只有统一的规则，太阳只是宇宙间无数星系中的一个小点，而宇宙中包括有无限多的太阳系，它们在无穷无尽的时间长河中兴衰变化，显示出永恒的生命力；地球围绕太阳转动，太阳和其他恒星的位置也在不断地发生微小变化。他宣布宇宙是一个统一的物质世界，不生不灭，永远守恒，宇宙之外无他物。

布鲁诺的这些新的天文学观点，对教会又是一个沉重的打击。他于1600年2月17日被活活烧死在罗马的鲜花广场，年仅52岁。他在生命的最后时刻高呼："火并不能把我征服，未来的世纪会了解我，知道我的价值。"1889年，人们在他殉难的地方为他建起了一座纪念雕像，以缅怀他为真理而无畏献身的精神。

17世纪中叶后，自然科

布鲁诺

哥白尼的"日心说"并没有放弃宇宙中心论以及宇宙有限论的思想，布鲁诺发展了哥白尼的"日心说"，提出太阳并不是宇宙的中心，只不过是一个恒星系统的中心。

哥白尼塑像

哥白尼塑像位于克拉科夫郊区大街和新世界大街的交界处。塑像是面向正北的哥白尼手持地球仪，脸上显出坚定的神情。

哥白尼在讲解自己的新学说

为了改革陈腐的天文学体系，哥白尼一方面努力汲取古希腊学者们各种著作中的精华，继承前人的成果，另一方面在和同代人的讨论中探索新的真理。他所提出的新学说是人类对宇宙认识的革命，它使人们的整个世界观都发生了重大变化。

太阳系仪

该太阳系仪是受哥白尼"太阳中心论"理论影响制成。仪器中包括太阳、月球、地球、水星和金星，地球能够绕着自身的轴转动，摇动把手，可以演示行星绕太阳运动。仪器外环上有历法、黄道带标志和罗盘点。

迪格斯解释哥白尼体系

1576年，托马斯·迪格斯用英语将哥白尼的宇宙体系表述了出来。他还在《天体轨道的一个完美描述》一书中，将哥白尼日心说的宇宙扩展为无限大。









月球的变化
漫画

这幅漫画形象具体地表现了一个月中，月亮面貌所发生的变化。

学日益进展，哥白尼学说的正确性日渐巩固，内容也有了很大的发展。在这方面起决定作用的，是物理学家牛顿。他写成《自然哲学的数学原理》一书，用万有引力的原理解释了行星的运行，给地球的绕日公转提供了更有力的证明。此外，科学家们还做过很多实验，证明了地球的自转和公转。人类对宇宙的现代观念逐渐形成。在这同时，欧洲很多高等学校都公开讲授哥白尼的学说，科学观点的第一次重大改变在哥白尼手中完成。

星学之王——第谷

Episode II

哥白尼的太阳系理论之所以为天文学家们所接受，主要是由于这个理论附带提供了有所改进的行星表。但在还没有积累起关于行星的准确而又有系统的观测资料之前，要编制出正确的星表不可能取得什么进步。因此，16世纪下半叶的天文学史主要就是为满足这种需要所做的种种努力，丹麦天文学家第谷·布拉赫（1546—1601年）便应运而生，他对那个时代的需要看得最清楚，并全力以赴地去满足这个需要。

第谷·布拉赫出身于一个丹麦贵族家庭，后进入哥本哈根大学。在那里，他的兴趣转到天文学方面。1563年，木星和土星会合时，第谷做了第一次有记录的天文观测。后来他又进行了多次天文观测，不断地天文观测使他认识到：行星表应在长期系统而又精确观察的基础上进行编制。

第谷

16世纪著名的天文学家。1572年，第谷观测并描绘了一颗新星——第谷星。他注意到彗星在行星之间的空间运动，同时也注意到星体不可能像以前的天文学家想象的那样，包含在透明的天球中。



第谷在天文台工作

第谷是最后一位用肉眼做精密观测的天文学家。在他所建立的天文台内，有当时最新的各种观测仪器，包括天球仪、巨大的四分仪等，并留下丰富的资料。



测量星体

象限仪（即四分仪）是较早用于测量星体地平纬度的科学仪器。图中，一位文艺复兴时期的天文学家正在用象限仪测量星体的地平纬度。这类天文仪器，为第谷的科学研究提供了技术支持。









六分仪

六分仪是一种能将星的仰角准确度测量到"分"的仪器。这种固定式大型六分仪很早就由各大天文台建造，供天体测量之用。

第谷的研究

1576年，第谷在丹麦的赫威恩岛建立了欧洲最大的天文台。这个天文台拥有当时最精确的天文仪器，第谷用这些仪器搜集了大量关于行星的数据，为以后开普勒的计算提供了重要的资料。

天文观测

在第谷的天文台里有许多天文仪器，这些天文仪器上装有精确的调度器和瞄准器。如图中所示，第谷通过望远镜把太阳的影子投射到屏幕上，用这种方法来观测太阳系中行星的运动。

1576年，丹麦国王弗里德里希二世赐予第谷一笔经费，又把位于哥本哈根和埃尔西诺尔之间海峡上的赫威恩岛赐给他作为天文台的台址。第谷接受了国王的赏赐，在赫威恩岛上建造了城堡和天文台，并从1576年到1597年一直在该岛上进行观测。

1588年，丹麦国王去世后，第谷开始失去王室的恩宠。1597年，他携全家赴德国汉堡，在那里写了《力学重建的天文学》一书，记述了自己的生平以及他的各种仪器及其使用方法。1599年，德皇鲁道夫二世赐予他一笔资金，并将他安置在布拉格附近的一个城堡里。他又把城堡建成了一座天文台。在等待仪器和书籍从赫威恩搬来这里的一段时间里，一位年轻的德国天文学家约翰·开普勒加入了第谷的工作，此后不久，第谷突然病倒，于1601年10月24日去世。

第谷·布拉赫研究了精密天文学的大多数问题，以前所未有的精确度测定了大多数重要的天文学常数。

与哥白尼不同，第谷不是作为一个理论家，而主要是作为一个观测家对天文学作出了卓越贡献。第谷最初的观测是用当时航海家使用的非常粗糙的携带式仪器进行的。1569年他设计了巨型象限仪，这种仪器的框架是木制的，刻度盘



宇宙结构图

此图是第谷·布拉赫绘制的宇宙结构图，从图可以看到他仍然坚持行星围绕地球运动的观点。尽管在研究上存在认识上的缺陷，但他的研究及天文观测资料为开普勒建立行星运动规律留下了一份珍贵的财产。

测量仪器

在望远镜出现之前，科学家们已经制造出一些没有镜片的天文仪器，这些天文仪器可用来正确瞄准和测量夹角。

由黄铜制成，它可用操纵杆来使之绕竖直轴转动，还能在它自己的平面上绕其中心点转动，以使两个瞄准孔可以对准地平线之上的任一天体目标。

第谷后来制造和应用的仪器有些是以古代天文学家的浑仪为根据的。这种浑仪由一些代表天球各个圆圈的带刻度的金属同心圆组合而成，用来测定恒星的黄经和黄纬等等。第谷减少了仪器所需的圆圈数目，这种提高了对称性的仪器专用于测定赤经和赤纬。

第谷还制造过可转动到任一垂直平面的象限仪，用以测量这个平面中任何天体目标的方位角和高度，现代经纬仪与这种仪器很相像。

借助各种装置，第谷作出了异常精确的观测。他用反复观测和组合观测的办法减小了误差，因而在他的星表中，标准星坐标的（角度）概差仅为25秒左右。另外，他以基本上和现代相同的态度来对待仪器误差。他认识到，不管经纬仪等仪器制造得多么精细，误差都是在所难免的，于是他用适当组合观测的办法检测出误差，然后用它们来修正用仪器做的一切观测。

构成行星运动背景的那些恒星的分布的知识，对于精密天文学有着根本性的重要意义。因此，第谷花了许多时间来测定星位，并制订出了一个星表。该表在1602年一发表便取代了托勒密的《天文学大全》中古旧的星表。在这张表上，第谷精确测定了777个星位，后来这个数字很快增加到1000个。

第谷曾对月球在其轨道各点上的位置作定期观测，这使得他自托勒密以来第一次把月





第谷向皇帝展示天文仪器

第谷不接受任何地动的思想，并质疑当时的“日心说”，提出了一种介于地心说和日心说之间的新的宇宙结构体系理论，他认为所有行星绕太阳运动，而太阳又率领众行星绕地球运动。

球运动理论向前推进了一大步。他还检测出月球轨道对黄道（地球轨道或太阳视轨道）倾角的波动，以及月球轨道结点绕黄道运行的速率。

对天文学后来发展最有重要意义的是第谷对行星的观测。他在早期就已着手这项工作，其方法是用当时的粗糙仪器来测量行星与其邻近恒星的角距。在赫威恩工作期间，他始终用他的墙象限仪和浑仪继续进行这项工作，但他的过早去世使他没能根据这些观测结果建立一个数值行星理论，这项工作接下来由开普勒而完成。

天空立法者——开普勒

Episode III

人们常常以为用科学发现的内在逻辑就足以说明科学的变化，然而德国天文学家约翰·开普勒（1571—1630年）的例子并非如此。他在学术生涯的早期非常着迷于占星术和数字神秘主义，但恰好也是这一点铸就了他的科学成就，改变了科学革命的进程。开普勒出身贫困，家庭环境也不正常。父亲是一名职业军人，常年在外；母亲后来练巫术，一心想当女巫。虽然开普勒鄙夷占星术的某些做法，但却认为占星术本身是一门古老的严肃科学。他一生都在用占星术为人算命，并以此获得固定收入。开普勒刚一知道哥白尼体系就成为其忠实维护者，他同哥白尼一样，发现日心体系“赏心悦目”，是揭示自然之神的杰作。

开普勒最初试图发现构成宇宙结构基础的简单关系，即和谐，相关结论载于他1596年的著作《宇宙的奥秘》之中。

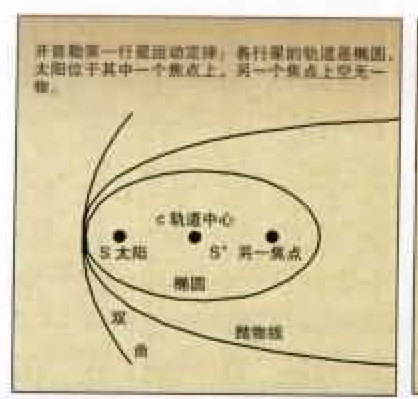
《宇宙的奥秘》包含有捍卫哥白尼行星体系、反对托勒密体系的很有价值的论述，同时也是把他介绍给第谷·布

开普勒

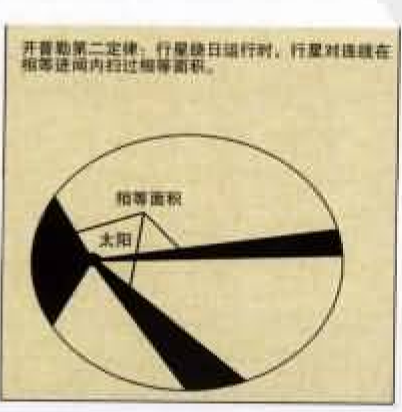
开普勒是人类历史上第一个观察到地球围绕太阳在椭圆形轨道上运行的科学家。他的宇宙观点在天文学的研究方面引起革命，他还发现至今仍在应用的行星运动三大规律。

开普勒三大行星运动定律

开普勒三大定律指出行星运动的轨道是椭圆而非圆形，并且其运动速度是有快有慢的。这对古希腊美学以及中世纪宗教论证的天体的运行是“神圣、完美、和谐”的圆周运动，提出了权威性的质疑。

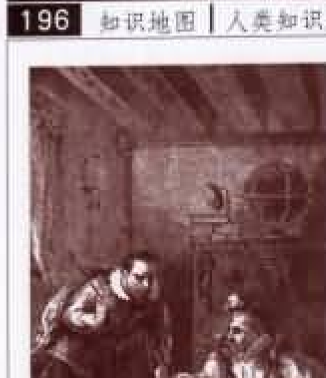


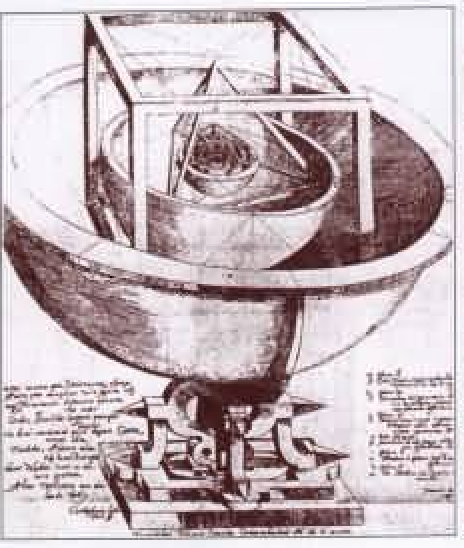
开普勒第一行星运动定律：各行星的轨道是椭圆，太阳位于其中一个焦点上，另一个焦点上空无一物。



开普勒第二定律：行星绕日运行时，行星对连线在相等进间内扫过相等面积。









开普勒与第谷
版画　19世纪

图中站立者是开普勒，他正在布拉格王室天文台向第谷请教。第谷不是很赞同开普勒的天文学理论，但是他承认开普勒在数学和天文学方面有特别杰出的才能。

开普勒的模型及天文研究草图

开普勒继承并发展了哥白尼的天体"贵贱观"，认为太阳是宇宙的统治者，其他行星按轨道绕太阳运行。此模型是他想象的把6颗行星和欧几里得的5个规则固体，组织成有序的行星体系，太阳处在开普勒模型的中心，其他行星的轨道大小和它们之间的距离都符合当时天文学家的观察。开普勒模型的研究也从第谷那里得到过很多帮助。

天主教会

1609年，开普勒出版了《新天文学》，书中论述了"所有行星围绕太阳运行"的观点。他的这个观点触动了天主教会的利益，天主教将开普勒的著作列为禁书，他本人也受到教会的残酷迫害。

拉赫的媒介。

第谷去世后，开普勒的第一个任务便是通过第谷遗留下来的观测资料，把哥白尼日心说中的行星运动曲线描绘出来。开普勒首先研究的是火星，因为在第谷的数据中，对火星的观测占有较大的篇幅，而且这颗离地球最近的外行星的运动与哥白尼理论的出入最大。

最初开普勒按传统观念，认为行星做匀速圆周运动。为此，他采用传统的偏心圆轨道来进行计算。但经过反复推算发现，对火星来说，无论按哥白尼的方法，还是按托勒密或第谷的方法，都不能算出同第谷的观测相符的结果。

开普勒不得不重新开始他的工作，那真是一项令人感叹的艰难的智力攻坚，为解决这一难题，他整整埋头苦干了6个年头，留下大约900页计算手稿。

最后，开普勒得到的结论是：各行星围绕太阳运行的轨道并不是正圆，而是椭圆。这一发现当然是一个令人震惊的划时代事件。要知道，以圆为基础的那种物理学观点支配了天体运动长达2000年，至少自柏拉图以后就一直是人们未曾动摇过的一种宇宙观。在1609

年出版的《新天文学》中，开普勒阐述了他那著名的行星运动三定律中的前两条定律：（1）行星以太阳为中心沿椭圆形轨道运行，太阳位于椭圆形的一个焦点上；（2）行星围绕太阳运动时的速度和与太阳之间的距离，有一种精确的数学关系，也就是说行星运行的速度是不一致的，近太阳者快，远太阳者慢，但从任何一点开始，向径在相等的时间所扫过的面积相等。开普勒的第二条定律引起了很大的轰动，因为它表明行星的运动并不是匀速一致的。现在行星是按照开普勒描述的那样运动，而太阳也无可争辩地位于中心位置。



和谐宇宙

开普勒的著作《世界的和谐》发表于1619年，这部著作体现了他对于深藏在宇宙结构之下的那种数学秩序的深思熟虑及研究成果。

1619年，开普勒发表了《世界的和谐》。这是他继《宇宙的奥秘》之后达到的又一个高峰，体现了他对于深藏在宇宙结构之下的那种数学秩序的深思熟虑和研究成果。也正是在这部著作中，潜藏着开普勒第三定律：行星公转周期的平方与该行星跟太阳之间的平均距离成正比。

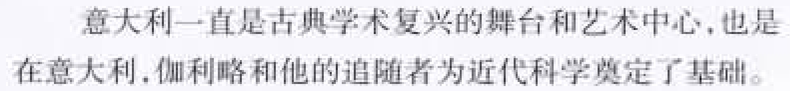
开普勒于1630年病逝，他对科学革命有着非常卓越的贡献，他的三大定律奠定了经典天文学的基础，被人们誉为“替天空立法的伟人”。他为牛顿后来发现万有引力定律铺平了道路。

伽利略——“伽利略的新宇宙”

Episode IV

伽利略

伽利略是意大利著名的天文学家、哲学家和数学家，他一生坚定地拥护哥白尼的日心说。他通过研究，发现木星也有自己的4个卫星，他把这看成是太阳系的一个缩影，按照同样的运动规律运转着。这就为哥白尼的日心说提供了实证。



意大利一直是古典学术复兴的舞台和艺术中心，也是在意大利，伽利略和他的追随者为近代科学奠定了基础。

伽利略·伽利莱（1564 —1642年）出生在比萨，他的父亲芬桑齐奥·伽利略是个酷爱音乐和数学的贫困贵族，著有《音乐对话》。在书中，他反对惯常的权威。饶有趣味的是，父亲的爱好和脾性都在儿子身上得到重现。

古希腊在物理学方面有两大学派，一派以亚里士多德为代表，另一派以阿基米德为代表。从11世纪起，在基督教会的扶持下，亚里士多德的著作得到了经院哲学家的重视，他们把亚里士多德的物理学奉为经典，凡违反亚里士多德物理学的学者均被视为“异端邪说”。但伽利略对亚里士多德的物理学抱怀疑态度，

审判伽利略

宗教裁判所的设定就是为了审判与正统教义相违背的异端思想，而科学正是在与宗教迷信思想的对抗中确立起来的。伽利略《关于两个世界体系的对话》，是站在“日心说”的角度为哥白尼辩论的，其异端思想触犯了《圣经》和教皇，遭到了罗马教廷的控诉和审判。



特别重视对阿基米德物理学的研究。18岁那年，伽利略注意到教堂里悬挂的长明灯被风吹得一左一右有规律地摆动，他按自己脉搏的跳动来计时，发现它们往复运动的时间总是相等的。就这样他发现了摆的等时性，后来荷兰物理学家惠更斯根据这个原理制成挂摆时钟，人们称之为"伽利略钟"。

在物理学上，伽利略提出了自由落体定律，否定了亚里士多德的"物重落地快，物轻落地慢"的原理。他通过在比萨斜塔上的公示实验证明，物体自由落下的速度与物体的重量无关，只与下落的时间成正比。若把空气的阻力产生的影响除外，它们的加速度完全相同。同样他又通过实验发现了振摆和抛物体运动规律。伽利略因此被誉为经典力学和实验物理学的先驱。



自由落体实验

伽利略以实验证明"物体下落的速度与重量无关，与物体的质量也无关"，提出了著名的伽利略自由落体定律。图为伽利略在比萨斜塔上的实验。



伽利略的研究记录

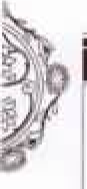
伽利略于1592年来到了威尼斯的帕多瓦大学任教，从这时开始，他的科学研究达到黄金时期。他研究了大量的物理学问题，如物体的斜面运动与力的合成等，并做了大量的记录，如图中所示。



抛射体的运动

对于抛射体的运动，伽利略是于1592年之后开始研究的。上图反映了伽利略对于物体抛射运动的研究。在这个研究中，伽利略确立了对物理现象进行实验研究的科学传统。

在天文学方面，伽利略的一大贡献是于1609年研制出了第一架能将物体直径放大30倍的天文望远镜。通过望远镜，伽利略首次观察到月球上的地形是高低不平的，他把月亮描述为充满山脉、河谷和河流的星球；发现了木星及其4个卫星、金星的盈亏、太阳黑子等天文现象，他甚至还窥察到了土星的光环。这些发现震动了西方世界，当时人们惊呼："哥伦布发现了新大陆，伽利略发现了新宇宙。"





伽利略所发明的望远镜随后被广泛地运用在军事和航海等领域，他也被冠以"特等教授"、"首席科学家"的荣誉称号。另外，伽利略还证明了太阳和地球都在缓慢转动，不过太阳是在原地旋转，而地球则围绕太阳转动；银河是由无数星系组成。

1632年，伽利略发表了《关于两种世界体系的对话》一书。该书通过3人对话形式，围绕哥白尼和托勒密学说的真伪是非展开辩论，讨论了地球的运动、哥白尼的学说、地球的潮汐等3个问题。它是作者长期研究和实践所获得的各种科学发现的总结，宣告了地心说在认识和实践上的破产。

伽利略很早就是一个心悦诚服的哥白尼主义者。1613年，他发表了《论太阳黑子的书信》，表达了他对哥白尼主义笃信不疑。他被指责为信奉邪说，但他极力为自己辩护，不仅试图把与日心说相悖的《圣经》经文解释清楚，而且甚至还试图引用经文来支持日心说。1616年初，宗教法庭的权威神学家们颁布了如下法令："认为太阳处于宇宙中心静止不动的观点是愚蠢的，它违反《圣经》，认为地球不是在宇宙的中心，甚至还有周日转动的观点在哲学上也是虚妄的，至少是一种错误的信念。"教皇警告伽利略不得"持有、传授或捍卫"哥白尼理论。

提出告诫之后的许多年里，伽利略保持着一定程度的沉默，潜心于科学研究。1632年，他发表了轰动整个学术界的《关于两种世界体系的对话》。但这本书遭到封禁，作者被宗教法庭传唤到罗马监禁起来，并遭到刑讯逼供，"可是，地球是





《关于两种世界体系的对话》书封

《关于两种世界体系的对话》是伽利略最重要的著作之一，出版于1632年。这本书一出版就被教会斥为异端学说，并开始了对伽利略的著名宗教审判。

《星空信使》书影

《星空信使》是伽利略的另一部著名作品，该著作发表于1611年。在书中，伽利略公布了他采用望远镜观察天体后所得到的各种新发现。

月球观察报告

1610年，伽利略制作出折射式望远镜，他由此发现了月亮上拥有众多的山峰。图为伽利略利用望远镜观察月球的第一份观察报告。



在运动啊。"伽利略对教会或任何其他强权机构妄想阻止科学思想前进的企图的嘲弄和谴责有增无减。

《关于两种世界体系的对话》和哥白尼的其他著作一直被列为禁书，直到1822年红衣主教团终于宣布允许在天主教国家讲授哥白尼理论。于是，一贯正确的教会不得不宣布放弃其早先的观点。在有些地方，科学思想可能发展极其缓慢，"可是，它是在运动的。"

1642年，伽利略病逝。同年，一颗新星在西方升起——牛顿降世了。

▲ 伽利略接受宗教裁判所的审判

伽利略的《关于两种世界体系的对话》出版后，引起教会的强烈反对，他们指责他为异教徒，并把他传唤到罗马进行审判。在宗教裁判所里伽利略说：我研究的是自然科学，与神学无关，神学是教堂的事情。

生命科学的肇始

SHENGMINGKEXUEDEZHAOSHI



中国：

1513年，李濂撰著《医史》，编录了明代以前的名医共72人的传记。

1550年，沈之问撰著了《解围元薮》，为中国第一部麻风病专著。

1554年，薛铠著《保婴撮要》，创用烧灼断脐法预防婴儿破伤风。

1567年，《痘科金镜赋集解》载，安徽以接种人痘法预防天花，后逐渐传至全国。

1567年，安徽太平县的医生发明了预防天花的人痘接种术。

1568年，徐春甫等在直隶顺天府（今北京）组织成立"一体堂宅仁医会"。

1575年，王向撰著《眼科龙术医书》。

1578年，李时珍撰著的《本草纲目》成书，该书明确提出部、类、种三级生物分类程序。

1600年，蒙古族的占布拉著《医法海鉴》，记述蒙古医治疗各科疾病的方药。

1601年，杨继洲撰《针灸大成》。

1617年，陈实功的《外科正宗》中记述设计精巧的鼻息肉摘除术、气管缝合术等。

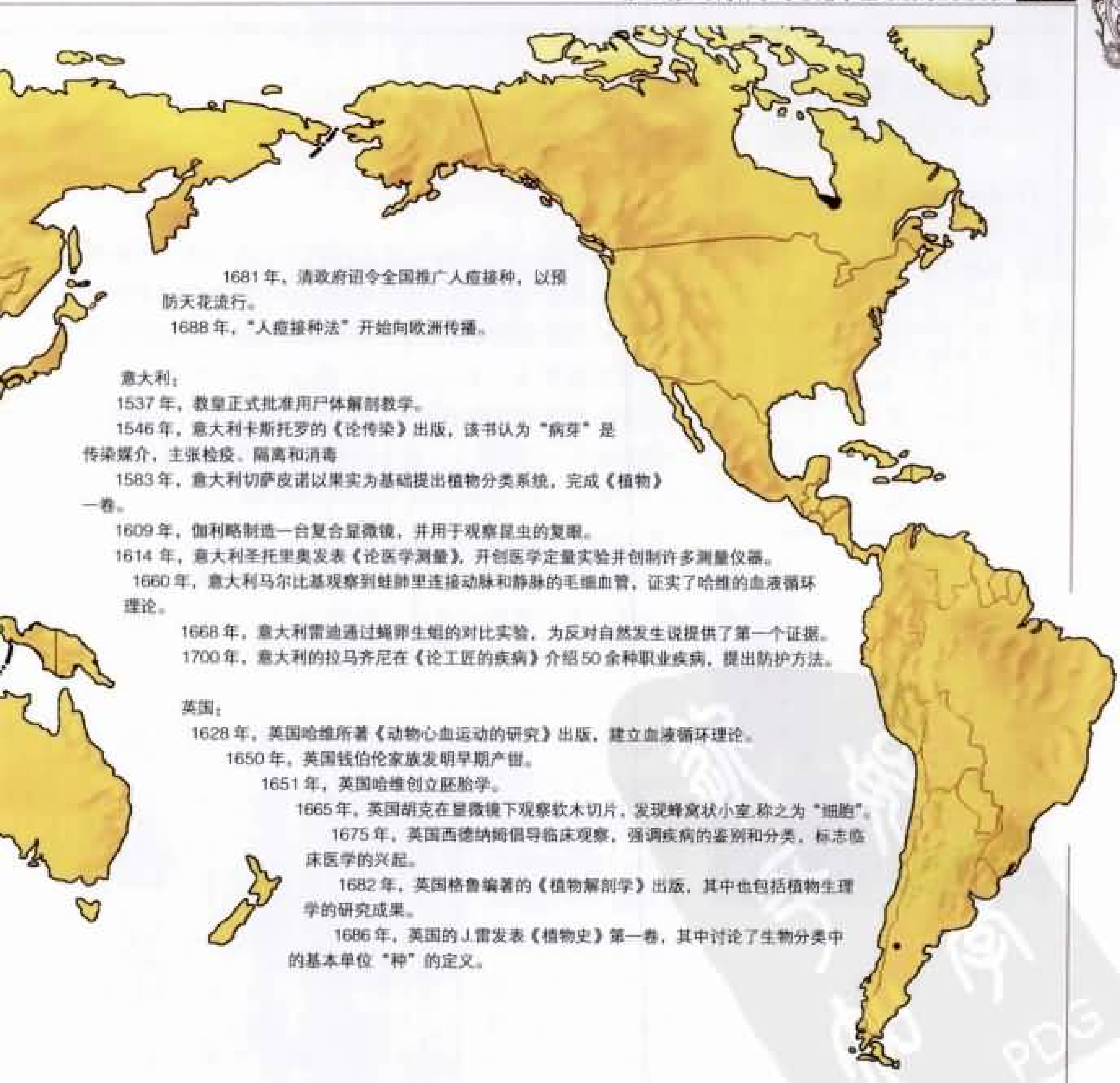
1617年，中国、朝鲜联合举行医学疑难问题讨论会，会议纪要名为《医学疑问》。

1625年，土茯苓输至印度、土耳其、波斯等国，被视为治花柳病良药。

1632年，陈司成撰《霉疮秘录》，为中国第一部梅毒病证治专著。

1642年，吴又可著《温疫论》，论述传染病传染途径、病源及特异性等。

1675年，渔阳天花流行，有人设坛厂，购求出痘夭亡儿尸火化，以控制传染。



近代之初，生物学家已经不囿于只注意活有机体的外部特征，而且试图弄清楚它们的内部结构以及它们的发展。这种倾向随着时间的推移愈趋显著，尤其是当显微镜使人观察到许多前所未知的有关动植物各个部分的结构和功能的事实之后。在当时带有明显机械论特征的物理科学的日益增长的影响下，生物学家也试图按照力学定律来解释活有机体的运动和活动。不过，这个时期里最为重要的解剖学和生理学发现都同血液循环有关。

医学解剖学的经典——《论人体构造》

Episode I

中世纪的人体解剖

从古罗马时期到中世纪，人体解剖是被严格组织的，医学家盖伦的很多研究，都是从解剖动物尸体上着手的。而与盖伦不同，维萨里对解剖学的真正贡献却是建立在解剖真正的人体上。很多医学界当时都是通过盗墓等非法途径获得人尸体的，维萨里还亲自到绞架下偷过死刑犯的尸体。



中世纪的人们普遍厌恶直接研究自然现象，这种状况在血液循环问题上也许比在解剖学和生理学领域里更为显著——宗教或道德的顾忌和某种厌恶感联合起来反对直接研究动物机体，尤其是人体。然而，从13世纪起，解剖人体的做法逐渐明显恢复。14世纪，直接研究人体解剖学的做法在一定程度上已经成为意大利各个医学流派的习惯。15世纪，意大利出现了最伟大的解剖学家之一：达·芬奇。他的750幅解剖素描是他在这个工作领域的天才明证。维萨里则复兴了对解剖学的直接研究，发起了对生物科学领域里的独尊权威进行攻击，引入了新的方法和仪器，以有效地进行解剖学和生理学研究。

安德烈亚斯·维萨里（1514—1564年）生于比利时的布鲁塞尔，于1537年任帕多瓦大学的解剖学教师。虽然他和学生所使用的是盖伦的权威教科书，但他仍毫不犹豫地在所考察的实际人体上指出了同盖伦著作相矛盾的地方。1543年，维萨里发表了他的伟大著作《论人体构造》。这部书遭到了非难，维萨里不得不离开帕多瓦去西班牙，在那里他先后当了查理五世及菲利普二世的御医。1563年，他去耶路撒



人体解剖图

维萨里之前的解剖学通常不是很精确，这个插图说明的是人们通常相信存在的东西，而不是实验者实际看到的东西。

冷朝圣，在从巴勒斯坦返回时，因病在赞特的爱奥尼亚群岛登岸，不久病死在那里。

《论人体构造》是一部划时代的著作。论述的程序基本上仍沿袭传统的做法，首先论述骨骼，然后依次是肌肉、血管、神经、腹部和胸部内脏，最后是脑。主要思想基本上也是传统思想，其中有亚里士多德的观点，也有盖伦的观点。这部书最有独创性的部分是最后一章，在这一章里维萨里介绍了他的活体解剖方法。他用的方法和器械都是新颖的、划时代的。它们在很大程度上是现代解剖技术的基础。不过，维萨里在解剖学的细节方面做出了许多发现。通



诊　断　插图

中世纪的时候，欧洲处于基督教的严格控制下，探究生命的奥秘被认为是妖术，但是在这种氛围下，医学还是在继续发展着。图为中世纪医学手稿中的一幅插图：一位医生正在为患者诊断眼睛。

人体躯干图

维萨里生活的时代，医学的演进与人体的艺术再现有部分关联。图中画家用画笔表现出了人体躯干肌肉的艺术性的模糊概图。画家笔下的人体躯干虽然不像真实的解剖图那么准确，但是却反映了文艺复兴时期人们对人体的普遍认识。

《论人体构造》插图　斯蒂芬·卡拉　16世纪

文艺复兴以后，西方医学开始了由经验医学向实验医学的转变。维萨里的著作《论人体结构》于1543年在瑞典的巴塞尔出版，建立起人体解剖学，这标志着医学新征途的开始。图为卡拉为《论人体构造》一书所作的两幅精美插图，他准确地描绘了维萨里对人体肌肉和骨骼的认识。











过对男女骨骼系统的比较研究后，他指出：男人的肋骨与女人的肋骨是一样的，不存在上帝用亚当的肋骨去造夏娃的事。维萨里还特别重视他著作中的插图，而这正是解剖学和生理学研究中的一个特别重要的问题。

在维萨里纠正的盖伦的许多错误中，有一个使现在的人们特别感兴趣。在盖伦看来，两个心室之间的中膈或者说壁是多孔的，因此一部分血能够透过它而从右心室跑到左心室。维萨里断然拒绝这个思想，他说："在我看来，心脏的中膈跟心脏其余部分一样厚实致密。因此，我无法想象哪怕是最小的微粒怎么能够从右心室通过中膈到达左心室。"而且，他画的略图也表明了动脉和静脉的微细末端在人体组织内那样密切接近的情形，并且他对门静脉和腔静脉的说明也十分清楚地指出，"这些静脉的最微小的支脉都彼此连合，在许多地方看来还结为一体而呈连续状，"以致人们不禁感到奇怪，他怎么没有猜测到血液是循环的。然而，他确实没有猜测到。迈出认识血液是循环的这一步的是塞尔维特。

维萨里

维萨里是中世纪时期欧洲第一个全面正确认识人体的医生，他为解剖学研究带来了新的精确标准。

人体解剖　油画

中世纪的解剖学在盖伦研究的基础上得到进一步发展。尤其到了维萨里时期，人体解剖学成为文艺复兴时期解剖学和生理学再度兴起的基础，并逐渐成为生物学的注意焦点。图为15世纪时期医学学生正在从事人体解剖。

血液循环的发现
——塞尔维特

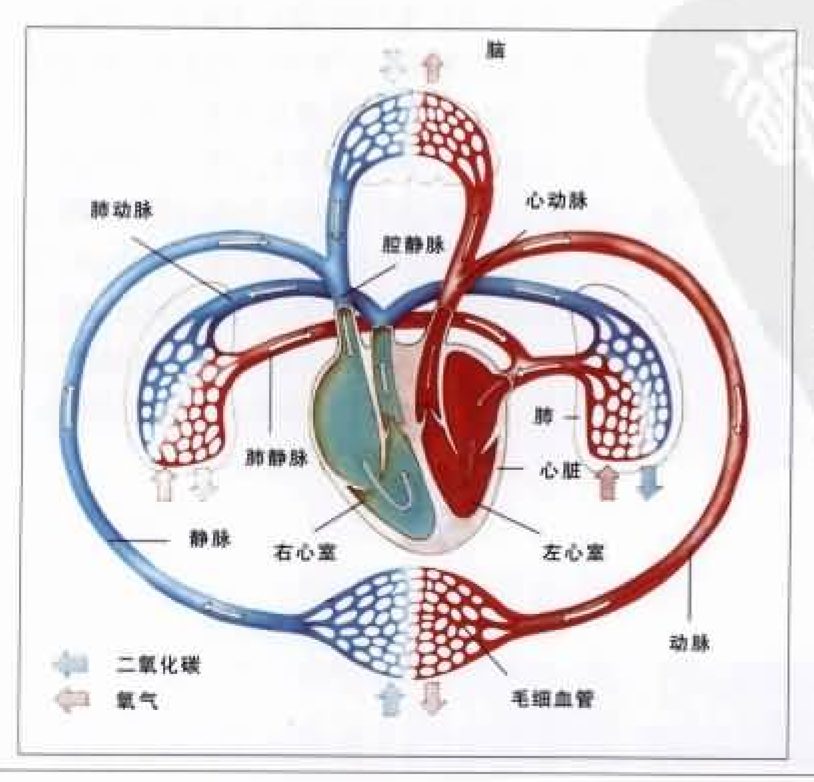
Episode II

迈克尔·塞尔维特（1511—1553年），是西班牙阿拉贡地方的人，和维萨里是同学。他因狂热拥护唯一神教派而同新教和天主教这些当权的教派冲突。他逃过了异端裁判所的法网，但落入了加尔文的魔掌，加尔文后来把他处以火刑，他的《基督教的复兴》也一起悉数付之一炬。然而，正是在这部著作中，塞尔维特连带阐述了血液的肺循环即小循环学说。

在《基督教复兴》一书中，塞尔维特提出了“灵魂本身就是血液”的看法，否定了当时盛行的“三灵气说”，以及用“三灵气”来解释心血管的基本活动，

加尔文 油画

加尔文16世纪宗教改革家，法国人，早年研习神学，后崇新教。塞尔维特因狂热拥护唯一神教派而与加尔文的新教相冲突，被加尔文逮捕，处以火刑。



血液循环理论的发展

早在盖伦的著作中，就曾提到过动、静脉间的“吻合”现象，但可惜的是他并无任何血液循环的概念。西班牙医生塞尔维特，则已认识到动、静脉是相通的，血液从动脉到静脉单向流动。当他的发现已接近血液循环理论时，却因观点触怒了教会，被处以火刑；因此血液循环的理论最终由哈维提出，因为皇家御医身份的保护，哈维才幸免于教会的迫害。





认为血液不是朝一个方向流动的，而是像希腊的爱琴海海浪一样，阵阵往复，方向不定，并且认为血液是经过心间膈上许多极细的、肉眼看不见的通道从右心室流向左心室。塞尔维特驳斥了这一观点，他认为，血液是从右心室先流到肺，再由肺送回左心房，并强调这种循环是“在肺内完成的”。这一切直接触犯了那些被宗教神学奉为经典的理论。

塞尔维特在法国时，就把《基督教复兴》一书寄给了法兰西宗教改革家加尔文，在论述圣灵和再生两者之间的关系时，塞尔维特提出了他对人体血液循环的发现；同时寄去一份附录，列举了加尔文的种种过失和错误，并表示要与他展开争论。

塞尔维特的信念和观点，对新教、天主教都是非正统的“邪说”，所以导致宗教法庭不止一次地对他进行审判。虽然当时也有一些加尔文的反对者企图营救塞尔维特，但都未成功，终于被加尔文教派以“传播危险异教”等罪名，宣判他犯了异教罪，处以火刑。

1553年10月27日，塞尔维特被活活烧死在日内瓦。恩格斯曾愤愤地说：“塞尔维特正要发现血液循环过程的时候，加尔文烧死了他，而且活活地把他烤了两个钟头……”

塞尔维特的书只有两三本幸存下来，因此很难估价这些有关中膈不可透过性和血液从心脏右边通过肺循环到左边的新观点所产生的影响。然而非常可能的是，如果塞尔维特没有浓厚的神学意识，或者如果加尔文不是那样狂热，那么，系统血液循环学说和随之而产生的一切生理学进步本来可能要早半个世纪出现。

塞尔维特

生理学中挑战盖伦理论的最具重大意义的新思想来自塞尔维特，他发现了血液的小循环，也称为肺循环。这反驳了血液散布于心脏两侧的传统观念，取而代之的是他坚持的血液从心脏右侧到达肺部，在那里血液获得空气后返回心脏左侧的观点。

头部解剖图

解剖学的发展为塞尔维特的循环理论提供了研究基础。图为关于人体头部的解剖图，经过分析，人们可以得知控制视觉、味觉、嗅觉的器官分布在人脑的具体位置。

人体的泵——哈维与血液循环

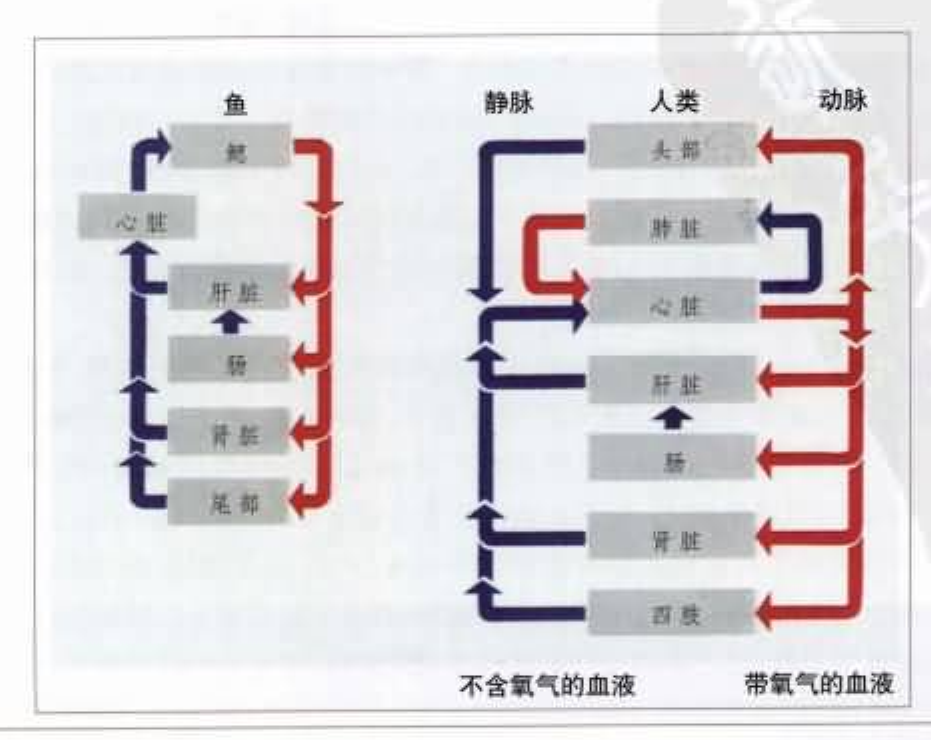
Episode III

继塞尔维特之后，法布里修斯又迈出了朝向完全发现血液循环的一大步：他发现了静脉中的瓣膜。

哲罗姆·法布里修斯（1537 —1619年）生于意大利阿夸彭登特的托斯卡村。他在帕多瓦大学教了64年书。1603年，他发表了著作《论静脉瓣膜》。他在书中描述了静脉内壁上有小的薄膜，它们朝心脏的方向打开，但朝相反方向则关闭。他指出，如果在肘部上把一条手臂绑起来，那么静脉就肿胀，而瓣膜突起成“结”或者突隆。他这样解释这种现象：瓣膜阻滞了血液的流动，以使组织能够有时间吸收必需的养料；瓣膜还防止血液流动极不规则，否则可

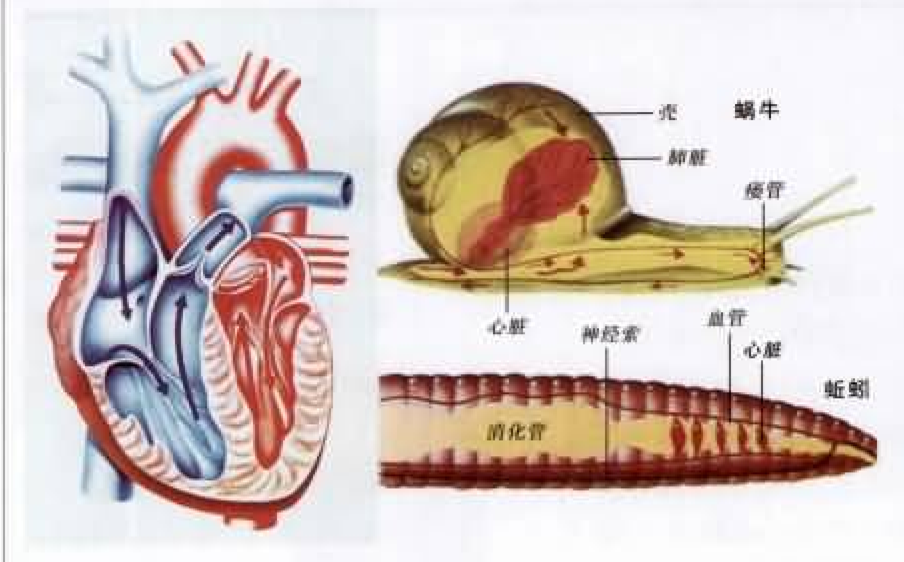
哈 维 油画

哈维是英国著名的医生，是历史上第一位正确描述血液循环的人。他证实了血液在人体内经过静脉和动脉朝单一的方向流动。



血液循环

血液的循环是指血液由心脏压送到动脉，并经过静脉重新回到心脏。图中箭头所表示的是鱼及人类循环系统中血液的流向。在哈维的研究中，他发现血管是一个封闭的系统，由心脏提供的血液在体内作循环流动。然而直到去世，他的血液循环论这一学说仍不为当时人们所接受。



心脏示意图

人类的心脏左右侧各有一心房及一心室。右侧运送缺乏氧气的血液进入肺部，而左侧运送含有丰富氧气的血液到身体各个部分的细胞。

蜗牛和蚯蚓的血液循环

蚯蚓有五个心脏以推送血液，蜗牛的血液则由血管流到器官间的开放空间，再由这些开放的空间流回心脏。哈维在血液循环研究中曾用多种动物做了大量活体解剖，用动物实验的方法证明了心脏血管和血液的循环运动。

能使养料全部为身体的一个部分所吸收。他没有看到瓣膜的真正作用是影响血液循环本身，因为他仍然师承盖仑而且相信，血液运动是一种涨落，静脉把新鲜血液从肝送到组织，把陈旧的血从组织带回肝脏。真正对此做出解释的是法布里修斯的一个学生——哈维。

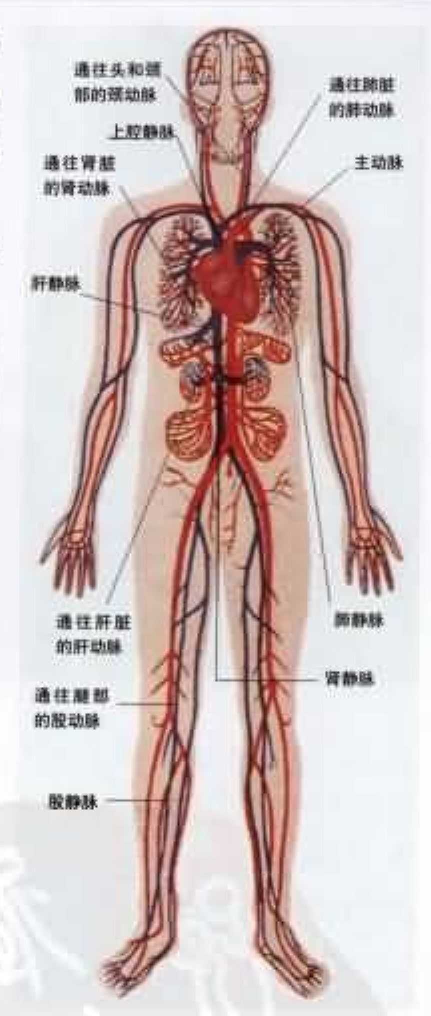
威廉·哈维（1578—1657年）生于英国福克斯通，后进剑桥大学学习。1597年，他在法布里修斯指导下学医，直到1602年。之后，哈维定居伦敦开业行医。1607年，哈维被选为皇家医学院院士，两年后他任圣巴塞洛缪医院的内科医生。1615年任皇家医学院的解剖学讲师。1616年，哈维在学院讲授了第一门课程，其中已经概略地勾勒了他的血液循环理论的大纲，虽然他的《论心脏和血液的运动》直到1628年才发表。1651年，他发表了《论动物的发生》。三年后，皇家医学院聘请他当院长，但他谢绝了，虽然他把他的全部财产都捐赠给了该学院。哈维被认为是皇家医学院的光荣，在他生前就在学院大厅里竖立了他的塑像。

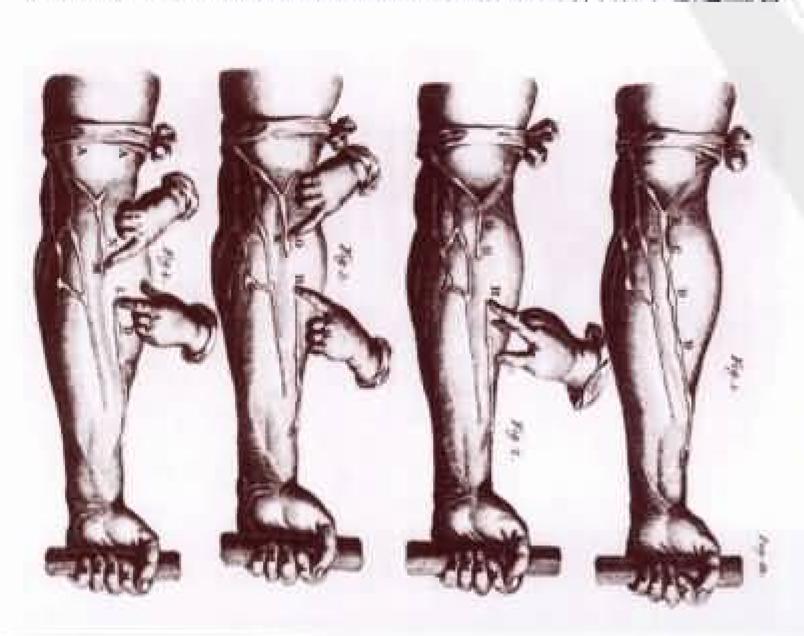
在《论心脏和血液的运动》中，哈维表达了维萨里和伽利略所代表的新时代精神，批驳了有关心脏、动脉、静脉和血液等问题上的流行的错误观点，解释和论证了他自己的系统血液循环观点。哈维的一些最重要的观点可以简述如下，心脏是一块中空的肌肉，它的运动特征是挛缩（收缩）继之以被动的扩张（舒张）。收缩把在心脏扩张期间进入心脏的血液从心脏排出；这些收缩的规则重复使血液保持在血管中运动。其次，心脏在半小时里所推动的血液之数量超过整个人体在任一时刻所包含的全部血液。如果不是设想从心脏排出的血液在相当短暂的时间里返回心脏，这一点就不可能得到合理的解释。有充分的观察和实验

证据表明，血液一刻不停地做连续循环运动。血管系统中的各种瓣膜保证这种运动沿一个方向进行。解剖和结扎的放血实验表明，动脉中的血总是沿离开心脏的方向流动，而静脉中的血总是沿朝向心脏的方向流动。因此有理由认为，血液从心脏到动脉，从动脉到静脉，再从静脉回到心脏，连续地循环，如此流动不息，直至生命结束。

心脏有四个腔，即两个心房和两个心室。当左心室收缩时，其中的血液被推动通过瓣膜而进入称为主动脉的大动脉。从那里它通过较小的动脉，直至进入静脉，然后通过称为腔静脉的大静脉进入右心房。当心房收缩时，其中的血被推动着通过瓣膜而进入右心室，再通过肺动脉进入肺。血液从肺通过肺静脉进入左心房，由此再次进入左心室，整个循环过程不断重复进行。可见，人体中的全部血液沿着一个方向循环，只对这个方向打开的瓣膜阻止血液沿相反方向流动。这就是哈维的血液循环概念。虽然当时哈维的血液循环理论不无缺陷，但这些缺陷大部分在17世纪得到了弥补。

哈维还写过胚胎学方面的著作。他在《论动物的发生》中提出：全身的血液由于心脏之类似泵的作用而通过血管





人体血液循环示意图

血液循环是血液经由心脏，被推送流遍整个生物体的过程。身体每一个部位的细胞和器官都需要通过循环由血液取得氧气和养分，并将废物带走。图为人体血液循环示意图。

血液流动

哈维经过研究发现，血液是通过静脉血管从四肢到心脏做单向的流动，而且是由瓣膜控制血液的通路。图（自右至左）为关于哈维发现的血液流动程序的演示。



哈维向教皇展示血液循环



经过进一步的研究观察，哈维发现，心脏并不具备造血功能，而是血液循环的一个终点站和动力站。尽管哈维的血液循环理论有充分的事实依据，正因为他的观点与当时的权威理论不符，因此直到去世，他的理论仍没有得到医学界和宗教界的认可。直到哈维去世四年后，意大利马尔比基教授将伽利略望远镜改制为显微镜，并用于医学上，观察到毛细血管的存在，才真正证实了哈维理论的正确性。

系统进行循环。这标志着生理学史打开了一个新纪元，开辟了一个新方向，沿此方向人们对健康和患病人体的构造进行了不计其数的研究。并且，通过把血液运动归因于仅仅是心脏肌肉收缩的结果，促使生物科学最终摆脱了蒙昧主义的笼罩。否则，只要生物科学使用灵气之类的概念而不是物理和化学概念，蒙昧主义就一直笼罩着它。诚然，哈维本人绝没有完全摆脱同时代人所使用的那种神秘化的语言，他甚至自命为忠诚的亚里士多德派，但他的建树超过了自己的认识。

显微镜下的新世界

Episode Ⅳ

列文虎克

17世纪中叶，显微镜的发明导致人们对自然界产生了全新的认识，如同天文望远镜的出现导致天文学革命一样，显微镜的出现也导致了生物学的革命。对于显微镜的出现，荷兰科学家列文虎克曾经作出了巨大贡献。

显微镜的应用使生物学知识的范围在17世纪大大扩展。以前用肉眼不能完全观察到的有机体和有机体的各个部分，现在可以借助单显微镜和复显微镜加以仔细研究，做出完备的描述和切实的图示。最早借助显微镜进行生物学观察的是伽利略。哈维看来曾用某种放大镜研究心脏，他曾两次提到过这种透镜的运用。不过，17世纪最重要的显微生物学家是马尔比基、列文虎克和施旺麦丹三人。

马尔切洛·马尔比基（1628—1694年）出生于意大利的波洛尼亚，他的著作主要是一些呈交伦敦皇家学会发表的论文。他曾于1668年当选为皇家学会会员，还曾把自己绘制的蚕和小鸡的图的原作呈送给该学会。

马尔比基抱着这样的信念研究低等有机体：这研究将能揭示高等动物的本质。出于这种信念，凡是可能的地方，他都应用比较方法。他通过研究蛙的肺而发现，肺不是空气和血液在其中混合的均匀组织，而是包含着气泡，并且有膈膜总是把血液和空气隔开，以使它们在肺中不直接接触。1660年，马尔比基在进行这些研究时首次发现血



细菌与病毒

图中为我们演示了病毒破坏细菌，入侵人体组织的原理。列文虎克在早期的显微镜观察中，就发现过细菌，他那时称之为"微生物"，直到两百年后，人们才知道这些微生物就是细菌。







液流过肺中的毛细血管，它们把动脉和静脉连接起来。后来他又在蛙体的其他部位也发现了毛细血管。虽然这些关于完全血液循环的重要观察只有借助显微镜才得以进行，但在很大程度上也要归功于马尔比基的独创精神。他率先采用在动脉中注入水的方法，由此冲掉血管系统中的血液，使血管看得更加清楚。

马尔比基最早专门研究蚕。他从显微镜下的解剖看到，这些小动物有复杂的器官构造，它们通过一个气管系统，即遍布全身的极其细微的小管进行呼吸。在蚕中发现这种小管子，使马尔比基对他的下一个发现做了思想准备。这个发现极其清楚地说明了他怎样运用比较方法，怎样利用从类比得到的启示。他还有一个发现是关于植物的解剖学，对这个问题虽然胡克已作出过一个重大贡献，他对植物组织的细胞构造做了显微观察。

有一天马尔比基在林间散步，看到一棵树的树枝折断了，折断处周围的一些丝状体引起了他的好奇。他用袖珍透镜观察这些丝状体的形状，发现它们同蚕的微小气管相像。这个发现导致他研究植物的比较解剖学，就一切生物的共性提出了许多猜测和设想。这些饶有兴味的猜测之一是关于活有机体的呼吸。按照马尔比基的看法，呼吸器官的大小同有机体的完善程度成反比。有机体越不完善，呼吸器官就越大；而有机体越完善，呼吸器官就越小。关于呼吸的功能，马尔比基提出呼吸以某种方式促进了养料液汁的发酵。

在马尔比基所做的其他显微研究中，可以提及的有：发现皮肤在表皮和真皮之间有一个色素沉着层，发现舌上有蕾状的味觉器官，以及发现肾和脾中有某些小体。另外，特别值得一提的是：马尔比基对胚胎学显微研究的贡献。马尔比基发展了法布里修斯和哈维的胚胎学工作，对小鸡在鸡蛋中的发育做了精细的观察。他在《论小鸡在鸡蛋中的形成》和《孵卵的观察》两篇论文中详尽记述和图示了

红细胞

显微镜的出现可以使人们能够了解更为微观的世界。红细胞就是在显微镜出现后才被发现的。它的直径只有7到8微米，其外形在显微镜下看就像一顶漂亮的小红帽。

骨髓

骨髓存在于长骨的空腔里，成人的骨髓约占体重的5%。骨髓具有造血的功能，血液中的各种血细胞都是在骨髓里制造出来的。图为显微镜下骨髓的样子。

这些观察的结果。这两篇论文对后来胚胎学的进步产生了很大影响。

简·施旺麦丹（1637—1682年）在昆虫研究上甚至超过马尔比基。他出生于阿姆斯特丹，1667年取得医学学位后，他为致力于精微解剖学研究，做出了很大的自我牺牲，不仅损害了视力，而且整体健康也受到伤害。施旺麦丹生前发表的著作很少。他死后很久，其著作《自然圣经》才于1737年出版。

施旺麦丹一生表现出非凡的手艺和技巧，大大丰富了精微解剖学技术。他制作的微型解剖器械——刀、剪、柳叶刀和解剖刀等要借助放大镜才能研磨。他拉制的细玻璃管，一端细如鬃毛，他用这种管子扩张昆虫等的微细脉管，或者注入彩色液体，以便能更清楚地看到这些脉管。

在研究中，他用松节油溶解和去除覆盖在他想研究的生物有机体上面那部分脂肪上，以卓绝的技巧含辛茹苦地对蜜蜂、蜉蝣、蛙和蝌蚪等做了描述和绘图等等。这些成果不仅在当时，而且在以后的几十年里始终都保持领先地位。在生物学理论方面，施旺麦丹的功绩是反对自然发生的观念。这种观念相信，有

上皮细胞

人体是由无数的生命个体组成的，细胞是人体中能独立活动的最小生命体，而人体是细胞的王国。图为人体皮肤的上皮细胞，在显微镜下，我们可以看到其形态。

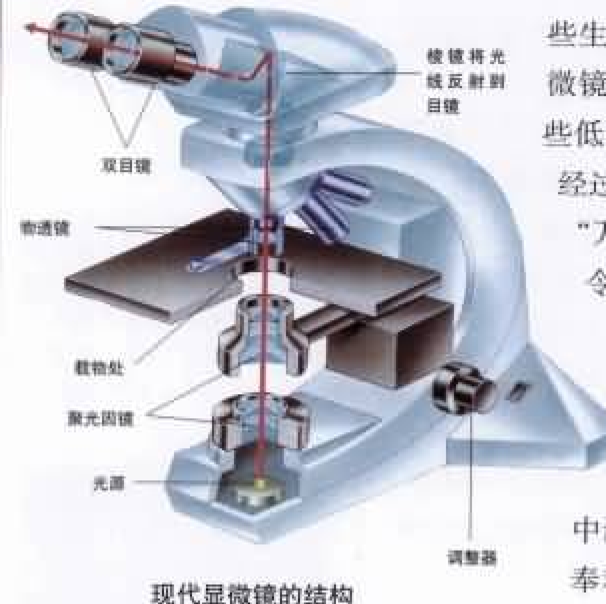


各式显微镜

显微镜是一种利用物理方法使物体影像放大的仪器，最早发明于16世纪晚期。它发明之后，被广泛地用于生物、化学、物理、冶金、酿造等各种科研活动。







现代显微镜的结构

些生物是从无生命物质产生的。这种观念在没有显微镜的时代，是非常自然的，甚至连哈维也认为有些低等生物，尤其是某些种类的昆虫是从腐败物质经过某种变态而自然发生的，尽管哈维曾大胆提出"万物皆来自卵"。施旺麦丹激烈反对这种观点，令人惊讶地预言了后来的发现，他力陈，从产生微小活有机体的腐烂物质中，迄今所发生的都是那些在有机物质中发生腐烂的活有机体。他坚持认为，自然界的一切生物都仅以哈维所说的"万物皆来自卵"那种方式从生物中诞生。施旺麦丹比哈维本人更加哈维主义地信奉和应用哈维的这个格言。

热衷于应用显微镜并乐在其中的人莫过于安东尼·范·列文虎克（1632—1723年）。他生于荷兰的德尔夫特，没有可称道的学历，一度当过店员。约在1660年，列文虎克在市政当局里谋得一个卑微的职位，这使他有充裕的余暇花在自己的癖好上面。他完全依靠自学，自己动手做透镜，用它们进行观察。他的观察没有计划，凡是使他感到好奇的，他都观察。与马尔比基一样，列文虎克也呈送许多论文给伦敦皇家学会。1680年，他当选为会员，后来他把自己的26架显微镜遗赠给学会。他的主要著作以《大自然的奥秘》为总题目发表。

马尔比基和列文虎克两人完成了哈维对血液循环的观察。列文虎克决心发现全部循环，在对其他动物做了各种尝试之后，他于1688年转而用显微镜观察蝌蚪的尾巴。

列文虎克独立做出的发现中，最重要的是发现了单细胞有机体（现在称为原生动物门）。他最早于1675年在一只新的陶罐里盛放了几天的雨水中观察到单细胞生物，这些小生物有



伤口的愈合

伤口的愈合与血小板的作用有着重要的关系，血小板会在伤口处形成血栓，以此堵住出血口。



医 药

显微镜的发明使医生更方便对病人进行诊断，使诊断的准确性更高。图为17世纪时期的药房。它是保存药物和根据医师处方配药的地方。

的似乎比一个血球的1/25还小。列文虎克曾把原生动物的大小与血球做比较这一点很重要。因为，很可能是列文虎克最早清楚地观察到和明确地指出有红血球存在。列文虎克还最早指出，这种红血球在人血和哺乳动物的血中是圆形的，而在鱼和蛙的血中是椭圆形的。在发现原生动物以后6年，列文虎克又发现了更加微小的生物——细菌。1683年，他通过放大镜在自己牙齿缝里看到有一个细小的白色物体，像潮湿的面粉粒那样大。他将它同纯净的雨水混合，惊讶地看到有许多小的活动物在活动。它们的形状、大小和运动都各不相同。有的长而灵活；有的较短，像陀螺似地转动；有的呈圆形或椭圆形，像昆虫群似地来回运动，看上去是那么小，好几千个细菌所占的面积才抵得上一颗砂粒。

100多年以后，当人们在用效率更高的显微镜重新观察这些形形色色的“小动物”，并知道它们会引起人类严重疾病和产生许多有用物质时，人们才真正认识到列文虎克对人类认识世界所作出的伟大贡献。

列文虎克是第一个也是最后一个伟大的显微观察家。

牛顿时代

NIUDUNSHIDAI

中国：

1630年，罗雅谷撰《比例规解》，介绍了比例规的制造和用法。

1631年，瑞士传教士邓玉函撰介绍欧洲三角学的著作《大测》2卷、《割圜八线表》6卷。

1631年，方以智在《物理小识》中创立“隔声”一词。

1632年，孙元化著《西法神机》，全面介绍欧洲火炮制作技术。

1635年，刘侗和于奕山在《帝京景物》中对陀螺的回旋运动做了极好的表述，陀螺是组成近代的回轮器的重要部件之一。

1637年，宋应星完成《天工开物》，该书是一部有关农业和手工业生产技术的百科全书。

1646年，波兰耶稣会士穆尼阁来华，他传入对数和三角函数的对数等新的数学知识。

1650年，郑玛诺赴罗马学习“格物穷理超性之学”，为中国较早留学者。

1660年，南京、上海等地，民间工匠开始仿制自鸣钟。

1661年，方中通著《数度衍》8卷。

约1670年，比利时传教士南怀仁制成温度计进献皇帝，后于1671年开始传授康熙帝天文、数学知识。

1672年，梅文鼎著成《方程论》。

1681年，杜之耕撰成《数学钥》，以欧洲“点、线、面、体”之法并载图阐述算法原理。

1683年，南怀仁将所著《穷理学》进呈皇帝，该书集当时输入中国西学知识之大全。

1685至1722年，清宫造办处制造了多种数学用具。

1690年，比利时耶稣会士安多向康熙帝介绍“借根方”，为一种非符号化的解一元高次方程的代数方法。

约1692年前，王夫之在《张子正蒙注·太和篇》中，以燃烧木柴、蒸馏水等例子论证



了物质与运动守恒的思想。

约1695年前，刘献廷在《广阳杂记》中记载了磁屏蔽现象。

17世纪后期，黄履庄研制成“验冷热器”和“验燥热器”，这是中国人较早自制的温度计和湿度计。

1701年，法国传教士杜德美传入著名的杜氏三术，即“圆径求周”、“弧背求正弦”和“弧背求正矢”。

1713年，康熙帝在畅春园建立蒙养斋，从事天文观测与西方科技著作的编译工作。

1721年，陈世仁撰级数求和公式集——《少广补遗》7篇。

1723年，康熙帝主持的《数理精蕴》53卷编成，该书汇集了1690年以来传入的西方数学知识，并吸收了中国数学家的一些研究成果，成为当时数学教育的主要参考书。

英国：

1655年，英国沃利斯著《无穷算术》，导入无穷级数与无穷乘积，首创无穷大符号∞。

1662年，波义耳实验发现波义耳定律。

1664年，牛顿开始进行光的实验。

1666年，牛顿用三棱镜作色散实验。

1669年7月，牛顿的《分析论》开始发行。

1670年，英国巴罗著《几何学讲义》，引进“微分三角形”概念。

1670至1671年，牛顿研制出反射望远镜。

1665至1676年，牛顿先于莱布尼茨制定了微积分，莱布尼茨早于牛顿发表微积分。

1669年，牛顿、雷夫逊发明解非线性方程的牛顿－雷夫逊方法。

1675年，牛顿作牛顿环实验，这是一种光的干涉现象。

1684年，牛顿开始撰写《自然哲学的数学原理》，通称《原理》。

1687年，牛顿在《自然哲学的数学原理》中，阐述了牛顿运动定律和万有引力定律。

1704年，牛顿发表《三次曲线枚举》、《利用无穷级数求曲线的面积和长度》、《流数法》。

1704年，牛顿有关光的研究的著作《光学》出版。

1711年，牛顿发表《使用级数、流数等等的分析》。

希腊人开创的璀璨文明，湮灭于晦暗的中世纪。科学文化在宗教的压迫下，失去了其原本应该具有的辉煌。到了15世纪，文艺复兴提倡的“人本主义”思潮席卷整个欧洲大陆，在这种理念的支配下，以“太阳中心说”为核心的科学思想以滔滔洪水，冲破了西方上空的雾障。1543年，哥白尼的《天体运行论》出版，揭开了人类近代史上第一次科学革命的序幕。而1687年英国科学巨匠牛顿发表的《自然哲学的数学原理》，则标志着经典力学的建立，物理学从此成为一门成熟的自然科学，人类文明进入了一个崭新的时代——牛顿时代。



上帝说：让牛顿出世

Episode Ⅰ

牛顿

艾萨克·牛顿，英国物理学家，数学家，被誉为人类历史上最伟大的科学家之一。



1642年圣诞节的那天（耶稣生日的同一天），牛顿诞生于英格兰林肯郡伍尔索普村的一个自耕农家庭。他是个遗腹子，父亲在他出生之前就已过世，这注定了牛顿与他母亲一方家庭的联系十分紧密。牛顿母亲的娘家是比较富裕且有教养的绅士和牧师家庭，这种家庭背景对牛顿的一生影响颇大，尤其影响到牛顿晚年的宗教生活。牛顿生来孱弱，据说小家伙柔弱得连头都立不起来，"整个人刚好可以放进一个罐子里"。

牛顿的孩童时代比较坎坷。三岁时，他的母亲再嫁给一位牧师，把他留在伍尔索普与祖母生活在一起。这段经历使牛顿在感情上受到伤害，因此所有关于牛顿的出版物都承认牛顿在少年时有点沉默寡言，性格倔犟。八年之后，牛顿的母亲再次丧夫，带着与后夫所生的一子二女又回到伍尔索普。牛顿

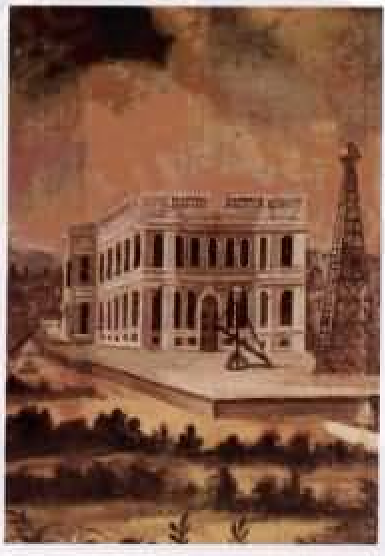
天文学的曙光

17世纪是一个孕育伟大科学的时代。在这个世纪之初，望远镜的发明已经使整个天文学研究发生了革命性的变化。哥白尼和伽利略扫荡古代科学中的错误概念，加深了人类对宇宙的了解。在这幅18世纪的绘画中，厚厚的云层被光芒驱散，繁复的行星系统在宇宙中展现出来，使人眼花缭乱。



巴黎天文台

1667年，许多欧洲的天文学家聚集到巴黎。在巴黎天文台建成之后，巴黎摇身成为天文学研究的重地。



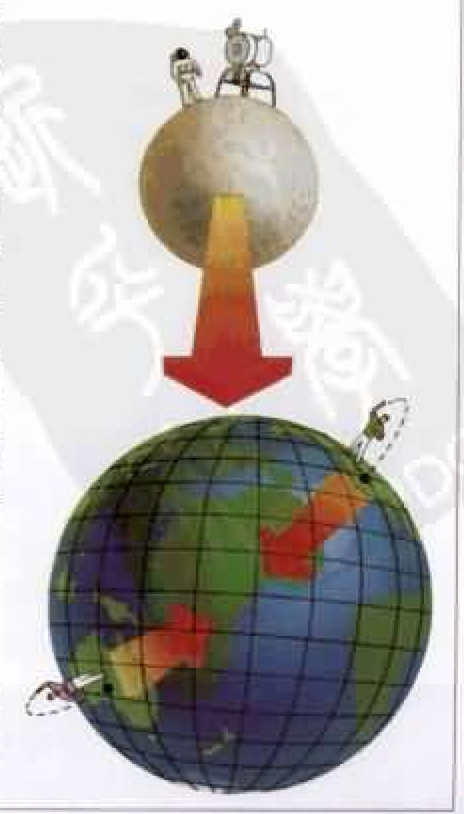
少年时代喜欢摆弄机械，据说他做过一架磨坊的模型，磨的推动力来自小老鼠。他也喜欢绘画和雕刻，尤其喜欢刻日晷，家里的窗台上到处安放着他雕刻的日晷，用以验看日影的移动来记时刻。他观察自然最生动的例子是15岁时做的第一次实验：为了计算风力和风速，他选择狂风时做顺风跳跃和逆风跳跃，再量出两次跳跃的距离差。12岁时，牛顿开始在离家不远的格兰瑟姆中学读书，并于17岁时离开格兰瑟姆中学。牛顿的母亲原本期望他成为一个农民来赡养家庭，但牛顿本人却无意于此而酷爱读书，以致经常忘了干活。随着年岁的增大，牛顿愈发喜好读书、喜欢沉思和做科学小试验。这时他已经意识到摆脱农民命运的唯一出路就是到外面读书。于是，在格兰瑟姆中学的校长J.斯托克斯和他当神父的叔父W.艾斯库的资助下，牛顿回到格兰瑟姆复习了一段时间的功课后，于1661年考上了剑桥大学。

牛顿被剑桥大学录取，并以减费生的身份进入剑桥大学三一学院读书。入学的头一年他还遭受到高年级学生的欺侮，被迫为他们做一些生活上的事务。剑桥大学的教育制度在这一时期，还浸透着浓厚的中世纪经院哲学的气味，甚至仍然死抱着柏拉图、亚里士多德不放。幸亏那时的剑桥大学日常学业管理不严，牛顿还可以选择一些自己喜欢的课业，如逻辑、古文、语法、古代史、神学等等。两年之后三一学院出现了新气象，牛顿也开始接触到了自然科学知识如地理、力学、天文和数学等的先进内容。后来，剑桥大学的学术气氛更为自由活泼。在这样的氛围中，牛顿学习算术，掌握了欧几里得的《几何原理》。他又读了开普



天体仪器

1000多年来，人们始终相信：地球位于宇宙的中心，而日月星辰则围绕在地球的周围。图中的天体仪器，生动地反映了地心说这一观点。直到16世纪，哥白尼提出日心说，推翻了上述观点，而牛顿的万有引力定律，则第一次将天上的运动与地球上的运动统一起来，为日心说提供有力论证。



万有引力

万有引力是牛顿发现的，在全宇宙都适用的一个普遍定律。人在上楼梯时会感觉到吃力，是因为向上走要克服引力的吸引。图中的实验展示了，小球被抛出去后，在地心引力的吸引下，仍会落回到地面。







勒的《光学》，笛卡尔的《几何学》和《哲学原理》，伽利略的《关于两种世界体系的对话》，虎克的《显微图集》，还有皇家学会的历史和早期的《哲学学报》等。1665年，牛顿拿到了剑桥大学的文学学士学位，并留在三一学院，不久之后就被聘为学院的固定教师。1669年，牛顿成为剑桥大学的第二任卢卡斯数学教授（卢卡斯数学教授是在1663年为激励剑桥大学的科学活动而设立的一个科学教席）。

牛顿的光学试验

1672年，牛顿发表了他的论文《关于光和色的新理论》。他指出，当太阳光通过一个小孔照在暗室里的棱镜上时，会发生色散现象，在对面的墙壁上呈现一个彩色光谱。他认为这种光的复合和分解就像不同颜色的微粒混合与分开，从而提出了光的"粒子说"理论。

苹果落地的思考

牛顿在花园的果树底下思考问题，突然一个苹果落到地上。这个偶然开启了他研究万有引力的科学历程。后来，牛顿在力学上作出了重大贡献，提出著名的"牛顿三大定律"。

这一时期，牛顿在剑桥大学受到数学和自然科学的熏陶，开始对探索自然现象产生了浓厚的兴趣。1665年，一场瘟疫波及到了剑桥，为此，剑桥停课两年，牛顿回到家乡伍尔索普。就在1665至1666年这两年之内，他在自然科学领域内思考前人从未思考过的问题，踏进前人没有涉及的领域，创建了前所未有的惊人业绩。1666年，牛顿开始思考重力问题，并大致地计算过重力对月球的影响；牛顿见苹果落地而悟出地球引力的传说，说的也是在此时发生的逸事；他利用棱镜研究光和色，发现了许多新的现象，并尝试从不同的视角进行解释。他还通过分析曲线的切线和曲线下方的面积之间的关系得到了对微积分的基本认识。总之，在家乡居住的这两年中，牛顿以旺盛的精力从事科学研究，并关心自然哲学问题。由此可见，牛顿一生的重大科学思想正是在这短短两年期间孕育、萌发和形成的。因此，早期的一些关于牛顿的传记都把这两年称为"奇迹年"。

1667年瘟疫结束后，牛顿重返剑桥大学，并于当年10月1日被选为三一学院的仲院

侣，次年3月16日选为正院侣。牛顿把他的光学讲稿、算术和代数讲稿、《自然哲学的数学原理》(以下简称《原理》)的第一部分，还有《宇宙体系》等手稿送到剑桥大学图书馆收藏。牛顿写作完《原理》之后，厌倦了大学教授生活，在一位朋友C.蒙塔古的帮助下，于1696年谋得造币厂监督职位，1699年升任厂长。当时英国币制混乱，牛顿运用他的冶金知识，制造新币。因改革币制有功，牛顿在1705年受封为爵士。17世纪80年代早期，牛顿成为英国圣公会的一名僧侣，开始研究宗教问题，著有《圣经里两大错讹的历史考证》等文。对宗教问题的迷恋，使得牛顿从17世纪70年代中期到80年代中期，为了追求神秘的知识耗费了大量的时间和精力，其中大部分耗费在对炼金术的研究上。他的炼金术研究其实是他对力学、光学和数学所进行的自然哲学研究的继续和延伸。牛顿是一位非常认真的炼金术士，他可以让他的炼金炉一点燃就数个星期不灭。他竭力想利用炼金术科学去搞清楚在自然界中发挥作用的那些力量和威势，这一点使其区别于一般的炼金术士。牛顿于1727年3月31日在伦敦郊区肯辛顿寓所中逝世，以国葬礼葬于伦敦威斯敏斯特教堂。

望远镜发明后的天文学热潮

在望远镜发明后，天文学逐渐成为一种时尚，用理性的方式研究浩瀚无穷的星空，在上层阶级中变成一种普遍的追求，他们为如此美丽而有序的宇宙感到无比惊讶。





组织化的科学机构

Episode Ⅱ

纪念币上的牛顿

晚年的牛顿曾在一家皇家造币厂任职。尽管牛顿在造币厂的职位实际上只是一种荣誉，但是他对重铸硬币，以及对伪造硬币者采取行动都很感兴趣。在这块以传统方式来纪念牛顿的硬币上，刻着他严厉的脸。

牛顿于1672发表的光学论文刊登在英国皇家学会的《哲学学报》上，也正是这一年，他被接纳为皇家学会会员，并于1703年被选为皇家学会主席。

皇家学会是出现在英国社会的一个新型科学机构，成立于1660年，1662年查理二世为其签发了皇家特许证。但它基本上是一个民间组织，王室并不提供津贴，它的经费主要来自会费和富商赞助。这个团体的建立直接受到培根思想的影响，因此，英国皇家学会一开始基本贯彻了培根的学术思想，注重实验、发明和实效性的研究。学会的章程说："皇家学会的任务和宗旨是增进关于自然事物的知识，和一切有用的技艺、制造业、机械作业、引擎和用实验从事发明（神学、形而上学、道德政治、文法、修辞学或者逻辑则不去插手）；是试图恢复现在失传的这类可用的技艺和发明；是考察古代或近代任何重要作家在自然界方

科学的进展

到19世纪结束时，科学不再是纯思想体系，而已经成为社会进步的强大动力。这一巨大的进展，是与17、18世纪各种科学共同体的兴起和巨大的科学成就紧密相关的。



在会议中的牛顿

1687年，《原理》的出版，使牛顿很快就成为名重一时的人物。书中详述了力学原理，解释了潮汐、行星的运动，并推算了太阳系的运转方式。随后，牛顿被任命为皇家学会主席，并成为第一个被授予爵士的科学家。图为牛顿（左二）在主持皇家学会召开会议。

面、数学方面和机械方面所发明的，或者记录下来的，或者实行的一切体系，理论、原理、假说、纲要、历史和实验，从而编成一个完整而踏实的哲学体系，来解决自然界的或者技艺所引起的一切现象，并将事物原因的理智解释记录下来。"《哲学学报》是学会的机关刊物，主要刊登会员提交的论文、研究报告、自然现象报道、学术通信和书刊信息。

17世纪，另一个与英国皇家学会齐名的科学机构是巴黎科学院。与英国一样，法国的科学家和哲学家们起初也是自发聚会，巴黎的数学家费尔玛、哲学家伽桑迪和物理学家帕斯卡等人先是在修道士墨森的修道室里，后在行政院审查官蒙特莫尔的家里集会，讨论自然科学问题。法国国王路易十四的近臣科尔培尔，向路易十四建议成立一个新的科学团体，为国家服务。1666年，巴黎科学院正式成立。与英国皇家学会不同，巴黎科学院由国王提供经费，院士有津贴，官方色彩更浓一些。他们的研究分为数学（包括力学和天文学）和物理学（包括化学、植物学、解剖学和生理学）两大部分。

英国皇家学会和巴黎科学院是17世纪发生的科学组织革命中起标志性作用的两大科学机构。他们的



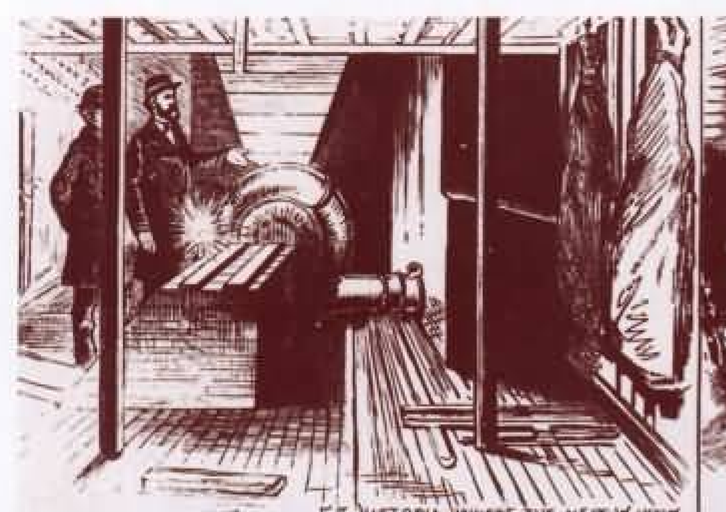


科学院的兴起

科学革命的一个重要的特征，就是科学共同体的兴起。各种科学组织和机构的建立就是一个例子。欧洲近代诸多科学院的兴起，为科学的兴盛提供了肥沃的土壤。图为1850年左右，在伦敦一些科学院的展览大厅里，正在展示当时的技术。

牛 顿

天文学的前行之路布满荆棘。17世纪伽利略为其信仰而遭受了天主教会的审判，后来诗人兼画家威廉·布莱克对牛顿的观点也发表了尖锐批判。在威廉·布莱克的笔下，牛顿是个埋着头测量天体的莽夫。









巴黎天文台

17世纪下半叶，在法国国王路易十四的支持下，先后成立了法国科学院以及巴黎天文台。早期的天文台只有简陋的“量天尺”和漏壶这些仪器，直到1667年巴黎天文台才有了第一台天文望远镜。这是在巴黎天文台的花园中，人们借助望远镜观测星体的场景。

出现预示了紧随其后的一个世纪将会出现一个以众多科学院为特征的科学组织形式的新纪元。在这两大科学机构出现不久，欧洲其他国家如俄国、瑞典也相继建立起它们各自的大型国家科学院。这样的一些组织机构，再加上社会上广泛存在着的那些关注科学的力量，就成为当时把科学组织起来的主要形式。此后一直到19世纪，又出现了专业的科学学会，大学也再度显示出它们的科学活力。17、18世纪的这些新型学术机构的建立，表明科学在科学革命之后已经在相当程度上得到了社会的承认和包容。

为了更好地管理国内外的贸易，欧洲各国相继建立起皇家或国家的天文台，如法国巴黎天文台和英国格林威治天文台。格林威治天文台位于伦敦东南的格林威治地区。格林威治是泰晤士河畔的一座小山峰。从海上过泰晤士河河口进入伦敦城的船只，必须从格林威治地区通过，形同伦敦的咽喉。1675年，英王查理二世颁诏，决定在格林威治山顶上的瞭望塔处建立英国皇家天文台，并且规定它的任务是：“寻求确定经度的办法，



17世纪的科学幻想

在法国的贵族教育里面，科学并不重要，尽管法国皇家科学院在路易十四的推动下得以建立，但路易十四本人对科学根本不感兴趣。但不管怎样，皇家科学院的建立，在一定程度上带动了法国天文科学的发展。图为这一时期人们的天文畅想画。

改善航海与天文学。”因为当时英国正在跨越大洋扩张领土，英王查理二世相信研究星相能为远洋航海提供保障。

新型科学机构和天文台在欧洲各国的兴起，标志着欧洲的宫廷和政府已经开始关注和重视科学。从16世纪起，一些宫廷和政府就开始出钱把科学活动组织起来，与此同时，科学专家也开始参与欧洲各国政府的事务。他们不仅在天文台、科学学会和大学里担任职务，还能够在政府的一切部门发挥作用，如牛顿担任铸币场总监，就直接服务于王室。当然，我们也不能夸大政府在科学革命中的作用，因为欧洲各国政府实际上是以一种纯粹买卖的关系来对待科学的，更多是为了国家的经济利益，正如英国格林威治天文台的建立，实际上是为了研究星相以促进本国的海洋贸易和领土扩张。否则，就如巴黎科学院那样名气很大的科学机构，在最初的几十年里，能够从政府那里得到的基金也少得可怜。





宇宙多元性

在18世纪，由认为太阳是一颗星星的看法，引发出了这样的观念：在宇宙中可能有无数的太阳系，并有与地球一样的行星，或许还住着和人类一样的生物。

《皇家学会史》插图

英国皇家学会，是世界上历史最长，而又从未中断过的科学学会。它的全称是“伦敦皇家自然知识促进学会”，成立于1660年，并于1662年被英国国王查理二世授予皇家特许证。图中，查理二世的雕像正被戴上桂冠，在雕像的左边是哲学家培根，右边是学会的第一任主席威廉·布隆克尔子爵。

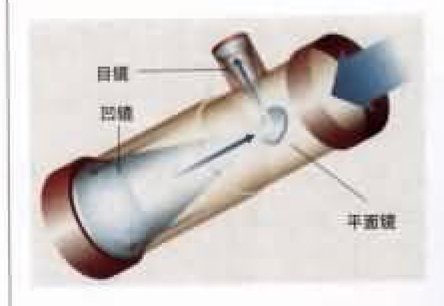
《光学》和反射式望远镜

Episode Ⅲ

天文望远镜

天文望远镜是观测天体的重要手段。可以毫不夸大地说，没有望远镜的诞生和发展，就没有现代天文学。随着望远镜在各方面性能的改进和提高，天文学也正经历着巨大的飞跃，迅速推进着人类对宇宙的认识。

光学在古希腊时代就受到人们的注意，并应用于天文观测。光的反射定律早在欧几里得时代已经闻名，但光的折射定律直到牛顿出生之前不久才为荷兰科学家W.斯涅耳所发现。16世纪，荷兰磨制透镜的手工业大兴，促进了显微镜和望远镜的研制，而这两种仪器的发明对世界科学的发展起了重大作用。牛顿之前，第一架望远镜是伽利略制造的。伽利略式的望远镜是以一片会聚透镜为目镜、一片发散透镜为物镜的望远镜。当时还盛行由两片会聚透镜组成的开普勒望远镜。但是这两种望远镜都无法消除物镜的色散。牛顿根据其在《光学》论著中对色散像差所做的论述，制作了反射式望远镜。他以金属磨成的反射镜代替会聚透镜作为物镜，这样就避免了物镜的色散。这台牛顿制成的望远镜长6英寸，直径1英寸，放大率为30至40倍。后经过改进，1671年他制作了第二架更大的反射式望远镜，并送到皇家学会



牛顿的反射望远镜原理

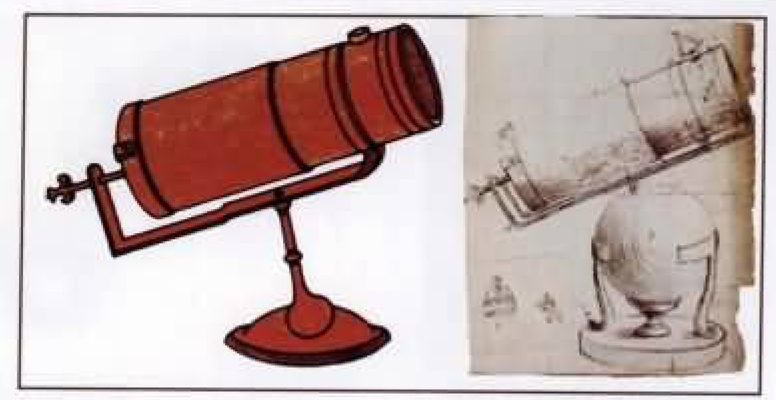
牛顿所设计的反射望远镜，采用凹镜来代替折射望远镜中的透镜。进入望远镜的光线，投射到与望远镜的轴线成45度的一面小镜子上，镜子将光线反射到旁边的目镜中，再通过目镜把影像放大。

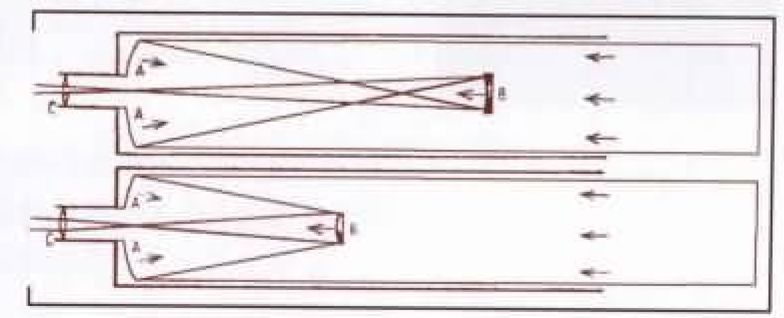


评审。这台望远镜被皇家学会作为珍贵科学文物收藏起来。

光的色散问题早在古希腊时代就有人做过猜测，把虹的光色和光透过玻璃片的边缘形成的颜色联系起来。但是从亚里士多德到笛卡尔，他们都认为白光是纯洁的、均匀的，是光的本质，而色光只是光的变种。他们都没像牛顿那样认真地对光的色散现象做过实验。

1666年，牛顿购得一块玻璃三棱镜，开始研究色散现象。在其《光学》一书中，牛顿论述道："把我的房间弄暗，在我的窗板上开一个小孔，以便适量的太阳光射入室内，就在入口处安置我的棱镜，光通过棱镜折射到对面的墙上。"牛顿看到墙上有棱镜投射的彩色的光带，且光带之长数倍于原来的白光点，他意识到这些彩色就是组成白色太阳光的原始色光。为了证明这一点，牛顿做了进一步的实验：他在光带投射的屏上也打一个小孔，让光带中彩色的一部分穿过第二个小孔，这些光带中彩色的一部分经过放在屏后的第二块棱镜折射投到第二张屏上，又让第一块棱镜绕它的轴缓慢转动，只见穿出第二个小孔落在第二屏上的像随着第一块棱镜转动而上下移动。于是看到，经第一块棱镜折射最大的蓝光，经过第二块棱镜也是折射得最大；反之，红光被前后两块棱镜折射得最小。于是牛顿作出结论：





牛顿反射望远镜的草图

光线进入镜筒后，经主镜反射回前端的副镜，再后折90°至镜筒外侧聚焦成像，再经目镜放大。而聚焦成像的方法，是旋转镜筒底侧的螺丝，以调整物像、物镜和镜筒的后半部分。

反　射

在牛顿的反射望远镜问世前，英国天文学家格雷戈里，以及法国科学家卡塞格林都曾提议，在镜筒内再放入一面镜子，从而使主镜上会聚过来的光，再从主镜中心的小孔反射出去。但格雷戈里认为这面镜子应该为椭圆形，而卡塞格林却坚持应该是双曲线形，图中是两者的设计原理图。

牛顿的棱镜实验　雕版画

图中牛顿在两位妇女的协助下，利用三棱镜分解射入屋内的一束太阳光的场景。此雕版画是梅多斯根据乔治·罗姆尼所绘的油画制成。







光　谱

光的颜色问题早在公元前就有人在做猜测，把虹的光色和玻璃片的边缘形成的颜色联系起来。牛顿通过三棱镜的实验，细腻地注意到，当光通过棱镜后可呈现由红、橙、黄、绿、蓝、青、紫等色组成的光谱。

艺术家笔下的彗星

牛顿的《光学》，于18世纪初出版，书中系统介绍了他对光和色彩的研究。他的一生，除对光学的研究外，力学是他研究的另一个重心。万有引力理论提出后，使其后天文学、物理学领域的研究更加明朗化。图中是艺术家笔下的彗星图，有人认为哈雷彗星的发现也有牛顿的一份荣誉，因为牛顿利用万有引力研究彗星的资料，为哈雷的研究提供了便利。

"白光本身是由折射程度不同的各种彩色光所组成的非均匀的混合体。"这就是牛顿的光色理论。

牛顿把这个关于光色的理论，于1672年用书信形式送交皇家学会评审，不料竟引起一场尖锐的论战。当时惠更斯反对他，虎克攻击他尤甚。因为早在1665年虎克就提出了光的波动理论，但这只是一个假说，惠更斯则使它完整起来，形成自己的"光的波动理论"，惠更斯认为空间的以太是无所不在的，他把以太作为振动的媒质，把媒质的每一个质点都看成一个中心，在中心的周围形成一个波。惠更斯成功解释了光的反射、折射。牛顿却提出了光的"微粒说"，他认为光的"波动说"的最大障碍是不能解释光的直线进行。他提出发光物体发射出以直线运动的微粒子，微粒子流冲击视网膜就引起视觉，它也能解释光的折射与反射。现在，对薄膜形成的彩色，牛顿则承认微粒说不如波动说解释得明快。微粒说与波动说之争在当时是十分激烈的，双方争论持续多年。

牛顿关于光的这些理论都记载在《光学》里。《光学》共三卷，他先对从古代开始的已经获得的光学知识进行了全面总结。接着用了近200页的篇幅展开论述了牛顿在1672年所写的一篇短文中曾经披露的内容，详细描述了光与光的折射、白光的不纯性、颜色的本质、有色物体的虹实验，还探讨了改进望远镜的方法。在第二卷里，牛顿又转而论述了薄膜现象，并且





牛顿环

“牛顿环”是牛顿在光学中的一项重要发现。这是他在进一步考察虎克研究的肥皂泡薄膜的色彩问题时提出来的。它是光的一种干涉图样，是一些明暗相间的同心圆环。

探讨了物质理论和物质的原子结构。在《光学》第三卷里，牛顿讨论了光的衍射现象。

《光学》第一版在虎克逝世之后问世。牛顿在最后部分以独特的形式附上了一份“问题”表，即他著名的探询。全书共提出31个“问题”。牛顿在这些“问题”中所谈到的不仅是光的折射、反射等，还涉及光与真空，甚至重力、天体等问题。这些问题涉及物理学的诸多方面，如此架构尽管在知识的连贯性上可能并不强，但是，它们却建立起一种新的研究传统，这对于在尚不成熟的科学领域里进行探索具有特殊的启发意义。因此后人评价这些“问题”是《光学》中最重要的部分。



经典物理学的高峰

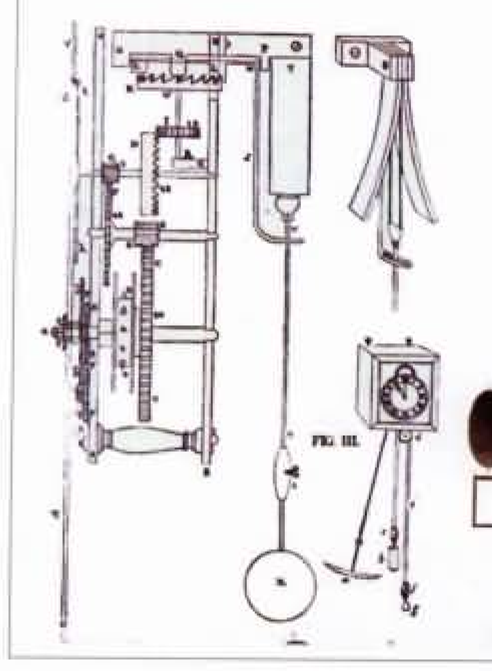
Episode Ⅳ

牛顿的反射望远镜

第一个提出反射望远镜方案的是英国天文学家格雷戈里。而亲手制造第一架反射望远镜的是英国科学家牛顿。他所制成的反射望远镜，奠定了现代大型光学天文望远镜的基础，现仍保存在英国皇家学会，作为珍贵的展品。

关于行星的运动规律，在中世纪时期即有研究。到了16世纪，丹麦天文学家第谷对此做了长年累月的观测。第谷死后，德国天文学家开普勒整理并分析了第谷的观测记录，总结出行星运动的定律，即著名的开普勒三定律。在开普勒发现行星运动三定律之前，1596年，他曾提出关于太阳、行星间的吸引作用，并随之提出物体做圆周运动时，会出现离心力的问题。尽管伽利略已领悟到离心力的存在，但对它作进一步的认识和计算则始于牛顿。1664年 1月20日牛顿在他的《算草本》上已提出如何计算物体做圆周运动时的向心力的具体方法。牛顿明确地指出："向心力就是这个速度的平方除以圆周半径。"顺便提一下，在牛顿之前，惠更斯已从不同途径推导得出向心力方程。惠更斯的推导结果发表于1673年，因此，牛顿虽在早年的《算草本》上提出求向心力的方法，但他自己也说："惠更斯先生后来所发表的向心力理论，我相信在我之前。"

关于引力反比于距离平方定律，历史上记载了当时对此发明权的争论。有人以为这个定律可以从开普勒第三定律直接推出，但缺乏向心力的概念和运动。而向心力的概念与运算都是牛顿最早做出来的。虎克当年就宣称，他早已知道引力反比于距离平方定律，但提不出证



单摆钟与测微器

在惠更斯的单摆钟、奥祖的测微器问世之后，天文学的测量逐渐精确。左图是惠更斯发明的单摆钟的结构图，单摆的运动，由它自身的摆轮来控制，可以维持它规律地来回摆动；右图是奥祖的测微器，它是一种观测工具。





惯性定律

惯性定律即牛顿第一定律，它的发现者并不是牛顿而是伽利略。这一定律是由牛顿总结，描述了在没有外力的作用下，物体运动的情形。图是教堂中的伽利略，他正在观察一个摆动的吊灯。

伽利略墓

伽利略是第一个把实验引进力学的科学家，他利用实验和数学相结合的方法确定了一些重要的力学定律。在经典力学的创立上，伽利略可说是牛顿的先驱。

据来。当《原理》第一版还在印刷时，虎克通过哈雷向牛顿要求分享此定律的发明权，但牛顿对此加以拒绝。不过在《原理》的注释中提到距离平方反比定律适用于天体运动时，牛顿说："雷恩爵士、虎克博士和哈雷博士曾分别注意过。"同时也提及"惠更斯先生在他的出色著作《钟摆的振荡》中曾把重力比之于旋转体的离心力"。这样，人们对距离平方反比定律的发明权就有所了解了。

牛顿把重力和天体运动的引力统一起来，在科学史上有特别重要的意义。但行星究竟以怎样的轨道绕日运动？这是当时科学界所关心的问题。这个问题答案的公开和牛顿《原理》的出版密切相关。

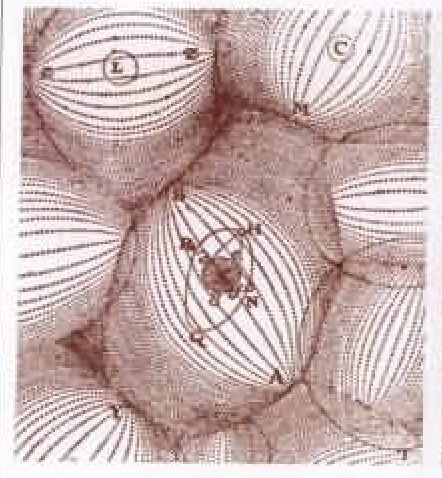
1684年1月，哈雷、雷恩和虎克在伦敦皇家学会闲谈，讨论起行星运动轨道问题。虽虎克说他已通晓，但拿不出计算结果。于是1684年8月，埃德蒙·哈雷专程到剑桥大学拜访牛顿，向他请教关于行星在一种$1/r^2$的吸引力的作用下，围绕太阳运动这种假设的看法。牛顿回想起自己在1666年做过的工作，立即回答说，行星的运行轨道应是椭圆，他曾经计算出来过。牛顿在他手稿里翻找了一会，然后对哈雷说，他

牛顿第三定律

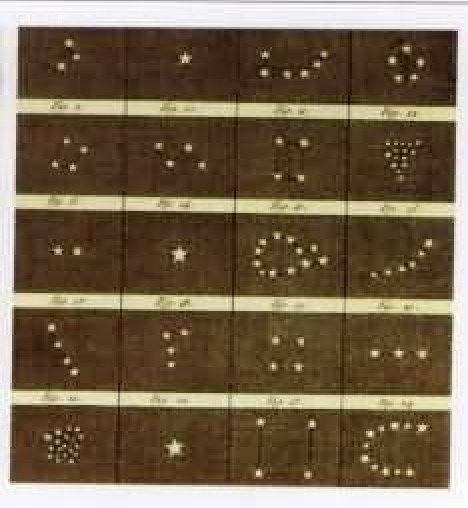
牛顿第三定律指出，如果一个物体向另一个物体施加力（作用），那么，第二个物体将反过来向前一个物体施加同样大小、但方向相反的力（反作用）。图中拴着小木偶的绳子，当摆动到最低点时，绳子给木偶向上的拉力和木偶给绳子向下的拉力，就是一对作用力和反作用力。











笛卡尔的想象

笛卡尔从伽利略的见解出发，试图解释天体运动的自然原理。在笛卡尔的想象中，宇宙各天体之间，布满了一种看不见的“旋涡”，它足以带动所有的行星和卫星，并且让全部星体朝着同一个方向运动。他所提出的观点，之后被牛顿推翻。

18世纪的漫画

牛顿的力学理论如今已经被广泛地接纳，并应用于许多实际操作中，但在牛顿阐明他的万有引力定律之前，重力并不能被大多数人所认可。图为18世纪流传下来的，讽刺牛顿重力理论的漫画。

星星的形状

随着天文学的进步，人们对于画星体的方法也在改变。但人们的眼中，星星的形状是固定清楚的，那就是五角星。在这幅复制的18世纪的星座图中，对星星的表现，都是有五个尖尖的突出角。

随后会把那些计算给哈雷寄过去。不久之后，哈雷收到了题目为《论物体的轨道运动》的9页手稿，这篇手稿概括了天体力学的基本原理。

这时，《原理》还未著完。当牛顿翻看他在1666年所做的那些最初的计算时，他发现了文稿的错误。于是，牛顿紧张地工作，克服了一个个概念上、数学上的障碍，终于得到了一个十分严格而完善的解决方案，并著入《原理》中。哈雷负责了这部著作的全部印制工作。

《原理》共三卷，整本书的叙述方式很像数学专著。在第一卷里，牛顿一开始就给出了定义和公理，他先定义了他使用的术语，接着表述了著名的运动三定律：（1）任何一个运动物体在不受外力作用时或保持静止，或保持匀速直线运动；（2）力的大小由运动的变化来量度；（3）对于任何一个作用力都同时存在着一个大小相等而方向相反的反作用力。

《原理》第二卷论述了关于流体静力学和流体动力学的数学处理方法。乍一看，脱离基于引力的天体力学的主题而转到流体领域好像有些莫名其妙，其实不然。在笛卡尔的世界体系中，宇宙中充满了以太。按照笛卡尔的说法，各个行星就是在不同的以太旋涡里被推动着运动。那么求助于以太旋涡的那些体系就应该属于流体动力学体系。牛



彗星的假设与记录

牛顿在《原理》第三卷中提出假设，认为有些彗星运行的轨道是封闭的，呈现被拉长的椭圆形路径，而这类彗星唯有靠近太阳时，才能被人们看到。同时他还认为，这类型的彗星，在每转一周所需要的时间应该都是一样的，所以应该会有规律地重现。图是1836年，格林威治天文台记录下的彗星。

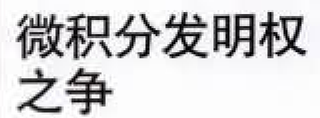
顿在检查这些体系的物理学时，发现笛卡尔的体系完全站不住脚。因此，他在《原理》的第二卷中写下了一段给笛卡尔体系致命打击的话作为结论："因此十分清楚，行星不是浸没在物质旋涡里被携带着转动。……那就让哲学家去看看该怎样用旋涡来说明（*开普勒第三定律*）吧。"

牛顿原想把《原理》第三卷写成一般性的总结，但后来改变了计划，标题定为《世界体系》。牛顿在这里第一次向人们展示了一个日心太阳系的"现象"，在这个太阳系里所有做轨道运动的天体都遵循开普勒三定律。第三卷的余下部分也指出了在《原理》之后新纪元里需要进行研究的课题，如月球的精确轨道、天文摄动、地球的形状、引力和潮汐等。

牛顿力学定律示意图

下图均是对牛顿第一定律：当物体受到一对大小相等、方向相反在同一直线上的作用力和反作用力时，物体保持静止或匀速直线运动；当抽掉一个方向的力时，力的平衡被打破，物体会在反方向推动做不匀速运动。 下图阐释了牛顿第一定律。





微积分发明权之争

Episode Ⅴ

莱布尼茨

莱布尼茨是17、18世纪之交，德国最重要的数学家、物理学家和哲学家。他曾与牛顿各自独立地创立了微积分，并各自运用在计算上。

《原理》的论述是借数学方法来阐明物体运动的规律，因此我们可以看出数学在《原理》中的重要地位。牛顿在《原理》中，建立几何条件之后，立即引入某种经过精心下定义的极限法。这种方法基于极限术的一组普遍原理，有别于经典式的古希腊几何学。

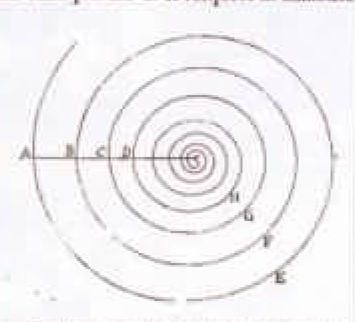
《原理》中，牛顿是为解决运动问题，才创立这种和物理概念直接联系的数学理论的，牛顿称之为"流数术"。事实上，它所要处理的一些具体问题，如切线问题、求积问题、瞬时速度问题以及函数的极大值和极小值问题等，在牛顿前已经得到人们的研究了。但牛顿站在了更高的角度，对以往分散的努力加以综合，将自古希腊以来求解无限小问题的各种技巧统一为两类普通的算法——微分和积分，并确立了这两类运算的互逆关系，从而完成了微积分发明中最关键的一步。因此可以说，《原理》一书的中心内容是论述牛顿在数学上的伟大创造即微积分术，并应用这个创造去解决天体运动

微积分研究

微积分学随着函数概念的产生和运用而产生，它是积分学和微分学的总称。它的创立是由牛顿和莱布尼茨完成的。出发点都是直观的无穷小量，因此最初这门学科也称"无穷小分析"。在研究上，牛顿侧重于从运动学考虑，而莱布尼茨更侧重于从几何学上分析。







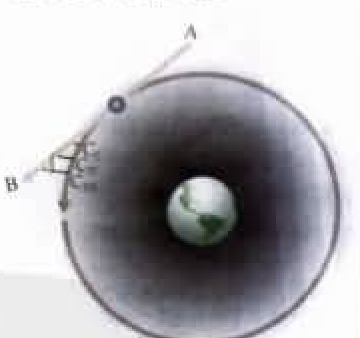
centrum illud fecerit, & Radium primum AS in eodem
fecuerit in B quo prius in A, idque cum velocitate quæ
ad velocitatem suam primam in A reciproce in dimidiata
distantia-
centro (id
S ad me-
roportiona
iter AS &
corpus il-
rpet innu-
confimiles
tiones BFC,
&c. face-
interfectio-
diftingueret
n AS in
AS, BS,
S &c. con-
roportionales. Revolutionum vero tempora erunt ut Pe-
orbitarum AEB, BFC, CGD &c. directe, & velocitates
ipfis A, B, C, inverse; id eft ut $AS^{3/2}$, $BS^{3/2}$, $CS^{3/2}$. Atq
torum, quo corpus perveniet ad centrum, erit ad tem-

《原理》一书的插页

《原理》是反映牛顿本人成就的一部科学巨著，以其丰富的内容、严谨的结构和精湛的思想而被誉为“17世纪物理、数学的百科全书”。在书中，牛顿通过基本力学概念的定义、运动三定律、万有引力定律和大量复杂精确的推导，构建了一个人类有史以来最为宏伟的物理理论体系。其影响所及遍布经典自然科学的所有领域，并成为后来所有科学著作和科学方法的楷模。

月球的运动

按照牛顿的惯性定律，月球应该是自然而然地作直线运动，从A点运动到B点。但由于受到地球引力的吸引，月球改变了直线运动的方向，如图，月球的运动转变了方向，并建立在绕地球运动的轨道上。



以及其他相关物理问题。

微积分之发明，史家也归功于莱布尼茨。对于这一数学上的伟大发明，牛顿与莱布尼茨究竟孰先孰后，后世议论纷纷。牛顿是在1665到1666年做出来的，莱布尼茨是在1676年左右完成的。但是莱布尼茨发表成果在先，也首先得到承认，不过要是独享荣誉也不公平，因为他于1676年访问伦敦时，曾经了解了牛顿的数学工作。

尽管牛顿在与莱布尼茨对微积分发明优先权问题出现争执，但是我们不能否认牛顿的伟大成就。牛顿在近代科学史上无与伦比的重要性，不只是由于他对当时的科学所作出的贡献，还在于他在塑造后来所形成的科学传统上所起到的永不磨灭的作用。因此，1942年爱因斯坦为纪念牛顿诞生300周年，对牛顿的一生做了如下的评价：“只有把他的一生看做为永恒真理而斗争的舞台上的一幕才能理解他。”此赞语是最恰当不过的了。

从炼金术到化学

CONGLIANJINSHUDAOHUAXUE

中国：

公元前1200年前，殷朝已能合理使用金、铜、锡、铅四种金属。

公元前5世纪，《墨子·经下》提出物质最小单位是"端"及物质变化的"五行无常胜"的观点。

公元前4世纪至公元前3世纪，《周礼·考工记》中，载有世界上最早的合金成分的研究，该书是记载中国古代工艺最早的一部著作。

公元前3世纪，秦始皇令方士献仙人不死之药，炼丹术开始萌芽。

公元前2世纪，《史记》中载有西汉武帝时关于李少君的炼丹术。

公元前2世纪，西汉刘安所辑撰的《淮南万毕术》中，记载有"白青得铁则化为铜"，这是金属置换反应的早期发现。

公元前1世纪，西汉出现用含锌矿石炼制铜合金。

公元前1世纪，《汉书·地理志》已载有石油的早期使用，煤也开始使用。

2世纪，魏伯阳的《周易参同契》，是世界炼丹史上最早的著作，涉及汞、铅、金、硫等的化学变化及性质，并认识到物质起作用时比例的重要性。

3世纪，中国东汉三国时张揖著《广雅》一书中有鋈，即白铜(铜锌镍的合金)的记载。

3、4世纪，晋朝葛洪的《抱朴子·内篇》在"金丹"、"仙药"、"黄白"三卷中涉及药物几十种。发现了一些化学反应的可逆性以及金属的取代作用，并掌握了如升华等操作技术。

5、6世纪，中国南北朝的炼丹士，已用炉甘石，即碳酸锌矿石及铜炼得黄铜。

6、7世纪，出现了以高温烧制成的真瓷，质坚、细致、半透明，和近代瓷器相似，是化学史上的重大发明

据《道藏·真元妙道要略》，公元9世纪，中国唐代的炼丹士发现火药，这是化学能转化为热能的重大发现，也是中国化学史上三大发明之一。



炼金术是一种化学哲学的思想和实践，是当代化学的雏形。其目的是将一些基本金属转变为黄金，制造万灵药及制备长生不老药。19 世纪之前，炼金术尚未被科学证据所否定，包括牛顿在内的一些著名科学家都曾进行过炼金术尝试。直到波义耳提出元素概念，再经拉瓦锡的氧化学说，作为近代自然科学的分支，化学才最终得以建立——炼金术亦被彻底否定。

炼金术：化学科学的基础

Episode Ⅰ

种类繁多的炼金术论著

从开本、篇幅和插图数量来看，炼金术论著种类非常丰富，其中专门论述炼金术方法的著作就超过了5万种。所有这些著作共同构成了延续传统炼金术千年历史的不可或缺的环节。

炼金术源自中国，称为炼丹术。炼丹术的指导思想是深信物质能转化，试图在炼丹炉中夺造化之功，将各类物质搭配烧炼，人工合成金银或修炼长生不老之药。东汉时，炼丹术得到发展，著名的炼丹术家魏伯阳，著书《周易参同契》以阐明长生不死之理。继后，晋代炼丹术家陶弘景著《真诰》。及至唐代，炼丹术与道教结合，进入全盛时期——炼丹术家孙思邈，著有《丹房诀要》。这些炼丹术著作都有不少化学知识，共记载化学药物六十多种，还有许多关于化学变化的记载。炼丹术家在实验过程中发明了火药，发现了若干元素，制成了某些合金，还制出和提纯了许多化合物。

伊斯兰炼金术体现了一种关于本质的哲学，它与中国

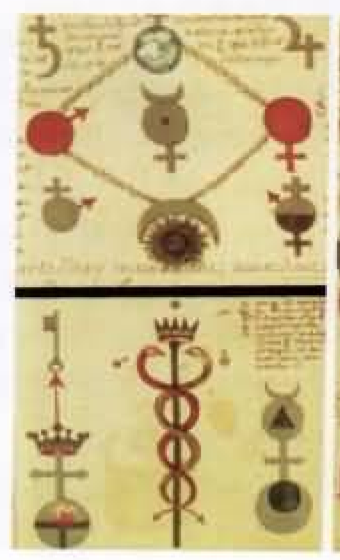




《论金属的衍变》 插图

这两幅图摘自G.B.纳查里的《论金属的衍变》。左图代表原始物质，右图为截去双手的汞。古代炼金术是中世纪思想的一种实践，他们认为利用这种技术可以将贱金属冶炼成黄金，并可以制造万灵药长生不老，然而科学证明这种思想是徒劳的。

的炼金术，以及关于矿物和金属转变成金的特殊原理都有密切关系。伊斯兰教历史上，穆斯林学者对炼金术的效能长期争论不休，多数自然学科的学者，接受了炼金术的基本观点。著名的伊斯兰医学家伊本·西那在他的《治疗书》中关于金属构成的学说，便是以炼金术的理论为基础。穆斯林最早的炼金术者是倭麦亚王子哈立德·伊本·叶基德。8世纪初，炼金术甚为流行，其代表人物是贾比尔·伊本·哈扬。





他的著作《七十本书》和《平衡书》，被视为伊斯兰炼金术的基础理论著作，是用阿拉伯文写成的关于炼金术最重要的文献。穆斯林医生兼炼金术者拉齐被誉为将炼金术发展为古代化学的奠基人。

西方最早的炼金术著作大约出现于公元100年。西方炼金术认为，金属都是活的有机体，逐渐会发展成为十全十美的黄金。这种发展可加以促进，或者用人工仿造。炼金术士们所采用的一个相当普遍的方法是把四种贱金属铜、锡、铅、铁熔合，获得一种类似合金



▲ 炼金术的操作过程

两图出自古拉·弗拉曼尔《灵药》一书的插图，详细表现了炼金术的操作过程。右图，反映使用研钵这一研粉工具的重要性，其下方是汞和盐的制备，并描绘了金属与宇宙之间的对应关系。而左图，画着赫墨斯的神杖，它充分显示了炼金术士所说的"物体既是个体也是万物，因为物体是一切混合物之根本的本原"。

◀ 炼金术士的实验室

炼金术思想起源得益于亚里士多德的物质属性论和毕达哥拉斯的数的理论。他们注重炼金过程，并将这一过程神性化，认为从贱金属向黄金的冶炼过程中，他们的思想更向上帝迈进了一步。









的物质。然后使这种合金表面变白，这样就赋予它一种银的灵气或者形式。接着再加进一点金子作为种子或发酵剂使全部合金变为黄金。最后再加一道手续，或者把表面一层贱金属蚀刻掉，留下一个黄金的表面，或者用硫磺水把合金泡过，使其看上去有点像青铜，这样便完成了整个转变的过程。为达到这一目的，炼金术士们设计了研究物质变化用的各种器皿，创造了各种实验方法，同时进一步分类研究了各种物质的性质，特别是相互反应的性能。这些都为近代化学的产生奠定了基础。

16世纪文艺复兴时期，宗教禁锢被打开，科学技术有了新发展，从古老的炼金术中获得的化学知识和化学方法在许多领域得到实际的应用，尤其是在医药化学方面，其代表人物是瑞士的帕拉塞尔苏斯。

帕拉塞尔苏斯（约1493—1541年）曾获得医学博士学位，但他的主要精力是放在炼金术上，只是他的炼金活动不是为了获得黄金，而是为了确定金属的成分。通过研究，

最早的炼金术著作书影

贾比尔·伊本·哈扬于8世纪初，撰写了《七十本书》和《平衡书》两部著作。这两本用阿拉伯文写成的关于炼金术最重要的文献，被视为伊斯兰炼金术的基础理论著作。图为最早的著名炼金术著作《平衡书》书影。

炼金术中的元素说

伊斯兰炼金术体现了一种关于本质的哲学，与关于矿物和金属转变成金的特殊原理有密切的关系。这种关于本质哲学的理论是以亚里士多德的形式质料说为基础，认为宇宙万物来源于四种属质和四种元素。起源于美索不达米亚的占星术也引用了这种元素的说法。他们认为，宇宙中的所有天体都对地面上的人类活动有所影响。因此，后世的炼金术士们认为，只有在各种天体处于特定位置的时候，炼金仪式才能取得成功。图中，代表黄金的太阳正普照大地。在炼金者心目中，还有其他星体，如月亮代表白银，金星代表铜，水星代表铁，木星代表锡，土星代表铅。

炼金术产品

在早期的炼金术士看来，用来炼金的材料必然包含了水、土、火、气四元素，以及其他宇宙存在的自然力量。而由这些最基本物质炼就出来的秘石，才能拥有点石成金、点人成仙的伟大力量。

他认为物质是由盐、硫磺和水银三种要素组成，他的"三要素说"很快取代了亚里士多德的土、水、火和空气的"四要素说"。帕拉塞尔苏斯把炼金活动转化为化学，又把化学与医学结合了起来。他进一步指出了"四体液说"和古罗马医学家盖伦的病理理论的谬误，认为每一种疾病都有其产生的原因，都可通过诊断而得到治疗。1530年他还发表了一篇关于梅毒的论文，宣布口服适量的汞剂可以医治梅毒。他指出"硅病"（即硅肺病）的病因是病人吸入了金属蒸气，而不是由于做了坏事遭罪谴。经过多次实践之后，他配置了多种用汞、硫、铁及硫酸铜组成的新药来治病，效果极好。他还发现少剂量的毒物有治疗疾病的作用。但是帕拉塞尔苏斯同时也主张，这些化学药品应由炼金术士或占星术士来控制。

炼金术的操作特性

炼金术法与其他形式的知识理论的不同之处，在于其自身的操作特性。它的理论从来不会直接地表达出来，而是在实验中不断得到新的总结。研究炼金术的人只把这一事业视为伟大的工作，而非哲学论证。图中，天使手持锁链和保管秘密的钥匙，知识被保护起来，等待着有恒心的人去慢慢发掘。



汞的万能

早期炼金术士认为，"汞是永久之水，没有它什么也不能形成，因为它具有宗教圣血之力。当它附在肉体上时，会因为彼此融合变成神灵，两者会成为一个个体，即变成一方或另一方。因为肉体融入神灵，神灵将肉体转化为神灵、圣血的色泽和颜色"。图中，哲人的梯子与天地连通，磁石也将圣瓶的"宇宙神灵"固定，而这一切都是汞所带来的神奇效果。

炼金术实验室

在现实生活中，炼金术士的真实形象同长期以来文学作品中描绘的相去甚远。图为炼金术实验室，学生们正在大师指导下操作。其中一个学生正在检验物质的重量是否准确，另一个正在火上实施操作。实验室内凌乱摆放着鼓风用的皮老虎、坩埚、蒸馏器等实验用具，在这里根本见不到文学作品中常提及的颅骨、蜘蛛网等场景。









灵药的制造

图中，实验室上方的炼金术大师们手中展开各种书卷，它们都是有关灵药如何制成的神秘方法。据说，在炼金术盛行的时候，灵药的制作方法已成千上万，而它们又都有着特定象征符号和隐喻图，不同的作者都以特有的方式和叙述习惯来撰写灵药的药方。

颜色反映物质的变化

在所有阐述点金石灵药的著述中，都对炉火内经历煅炼物质的色泽变化作过详细而相似的描写。因此，人们有理由相信，物质令人瞩目的色彩变化便是炼金过程中点金石和物质转化成功的证据。图中，"混合物"正起着著述中的转变，它由黑色变成白色，然后是黄色，最终在达到完美状态时变为红色。这一状态的物质便是炼金术士梦想中最完美的金属衍变。



帕拉塞尔苏斯把传统的炼金活动引向了一门新的科学——化学，又把化学与医学结合起来对疾病进行研究，他的这种新思想广为传播，并孕育了现代医药学。

17世纪，"炼金术士"的称呼开始变为"化学家"，"炼金术"也变成了"化学"。由炼金术到化学，其中的转变并不是一下完成的，这期间有无数的学者研究、推测、验证。逐渐地，神秘莫测的炼金术变成了井井有条的化学科学。



“实验决定一切”——波义耳

Episode Ⅱ

波义耳（1627—1691年），爱尔兰化学家和自然哲学家，伦敦皇家学会创始人之一，是近代化学元素理论的先驱。波义耳认识到化学是一种重要的理性科学，并不仅仅是一种实用工艺，因而主张“实验决定一切”。

化学主要起源于炼金术，15至16世纪，化学开始摆脱炼金术的束缚，但仍从属于医学和冶金，没能成为一门独立的科学。波义耳明确主张不应把化学看做一种制造贵重金属或有用的药物的经验技艺，而应看成是一门科学。他抨击了亚里士多德的“四元素”理论，也反对帕拉塞尔苏斯的“三要素说”，而主张“基本微粒说”。认为物质是由大小和形状都很小的基本微粒组成，这些微粒的变化就是物质的变化，这些微粒将被证明就是化学元素，也即化学元素是用化学方法不能再分解的最简单的物质。波义耳开创了化学分析研究，区分了混合物和化合物的区别。他发明了“气体”一词，并进行

近代化学的先驱：罗伯特·波义耳

化学的起源最早可以追溯到中世纪的炼金术。德国化学家李比希曾经说过，“炼金术实质上就是化学”。但直到17世纪以前，化学几乎还谈不上是一门科学。1661年英国化学家罗伯特·波义耳发表了名著《怀疑派化学家》，指出了“化学不是为了炼金，也不是为了治病，它应当从炼金术和医学中分离出来，成为一门独立的科学”。由此把化学确立为科学，他则被誉为“化学之父”。

早期化学实验用具

图为1689年出版的一张化学实验室便携式工具目录图，其中分别陈列了天平、钵、杵、风箱、钳子和玻璃容器等用具，是当时化学发展程度的形象体现。



波义耳定律演示实验

波义耳定律表明，在恒温条件下，气体的体积与压力成反比。图中，最初压力为a，体积为b；当体积变为原来的1/2时，压强变为2b，两者的积保持不变。

THE
SCEPTICAL CHYMIST:
OR
CHYMICO-PHYSICAL
Doubts & Paradoxes,
Touching the
SPAGYRIST'S PRINCIPLES
Commonly call'd
HYPOSTATICAL;
As they are wont to be Propos'd and
Defended by the Generality of
ALCHYMISTS.
Whereunto is præmis'd Part of another Discourse
relating to the same Subject.

BY
The Honourable ROBERT BOYLE, Esq;

LONDON,
Printed by J. Cadwell for J. Crooke, and are to be
Sold at the Ship in St. Paul's Church-Yard,
MDCLXI.

《怀疑的化学家》书影

图为波义耳于1661年出版的《怀疑的化学家》一书扉页。这部书中，波义耳反驳"大的理论"的残余，一方面是亚里士多德的四元素，另一方面是当时流行的化学理论，即主张盐、硫、汞是三个主要原质。本书是化学走向现代观点的转换点，它也同时表明波义耳已站在位于炼金术和实验化学之间的转折点上。

了气体实验。他证明了空气不是一种基本元素，而是几种气体的混合物。他从实验中获得了磷的大量知识，并从木头中提炼出酒精，重新探讨了原子学说。

《怀疑的化学家》是波义耳最重要的化学著作，此书标志着近代化学从炼金术中脱胎出来。从波义耳开始，化学被看做是一门理论科学，而不再是经验技艺。

波义耳在物理学方面研究得最多的对象是气体，其研究成果以发现气体的弹性（即可压缩性）最为有名。他在一支一端封死的U形玻璃管中注满水银，封闭的一端留有一部分空气。当加在空气上面的重量越大时，空气的体积就越小，从而证明了空气的体积与加在它上面的压力成反比，这就是著名的波义耳定律。根据这一原理，他制成了空气打气筒，即气泵。这个定律因在14年后又为法国科学家马略特独立发现，故用他们两个人的名字命名，称为波义耳——马略特定律。

“燃素说”和施塔尔

Episode Ⅲ

燃烧现象很早就引起了化学家们的重视：物体在火中会发生什么变化？对火观察所得到的最明显的现象是有些物质在燃烧时能产生火焰，有些物质燃烧以后留下了少量灰烬，其重量远比原来的物质轻——这似乎说明在燃烧时是损耗物质的。于是，化学家们开始猜想，在燃烧时是否有某种易燃的元素逃逸了。然而，冶金化学家却发现：金属在加热时变成了较重的粉末——金属灰，但这些观念都来源于当时普遍承认的关于初始物质的学说——亚里士多德的四元素论或炼金术的三元素说，而每一种学说都不能满足当时学者们的要求，因此就出现了初始元素的折中理论。波义耳关于元素的新观点在18世纪初既没有得到承认，又没有得到进一步的发展。在这种情况下，燃

施塔尔

施塔尔1660年10月21日生于安斯巴赫。他曾经是炼金术的崇拜者，但后来改为学医。1684年于耶拿大学读完医学。1694—1715年任哈雷大学化学和医学教授。1716年任普鲁士宫廷医生。他的重大成就是1703年根据其导师J.J.贝歇尔的燃烧理论提出了“燃素说”，该学说流行于18世纪。他还是最早进行氧化还原反应试验的化学家和冰醋酸的最初制造者。施塔尔一生著述有200多种，主要有《化学基础》等。

氧化还原反应

燃素说是17世纪末、18世纪初形成的解释燃烧现象以及整个化学反应的学说。它认为，燃素是一种存在于可燃物质中的气态物质。燃烧过程中，燃素从可燃物中飞出来，与空气结合，从而会发光发热，产生火。它还认为，金属溶于酸，是燃素被酸夺去的过程。然而这一学说，终究不能解释金属煅烧后质量会增大的事实。随着18世纪70年代氧气的发现，燃烧本质被揭示，燃素说逐渐退出舞台。图为氧化还原反应示意图，燃烧本质的揭示为这一化学反应研究奠定了基础。





素说诞生了，这一学说的出发点是想弄清楚燃烧现象的真实情况。燃素说最早是由德国医生兼化学家贝歇尔和他的弟子施塔尔提出来的。贝歇尔相信金属能够转变，而且在地球内部，金属能够自生出来。为了证明铁能在黏土中自生出来，他把黏土和油的混合物煅烧，再把燃烧物研细后，用磁铁分离出了少量的铁。

1667年贝歇尔的《土质物理学》出版，其中叙述了他关于构成复合物初始元素的学说。他认为构成一切矿物、植物、动物的初始元素为土和水。他把土分为三类："第一类土"是可溶的和石质的，"第二类土"是油质的，"第三类土"是挥发性的。在解释燃烧现象时，贝歇尔从一般公认的原理出发，认为燃烧是火分解燃烧物的过程，物质的可燃性是由于其中含有"第二类土"（油质的）。他指出，可燃的原因也可能是物质中含有硫。他认为普通的硫是复合物，由酸和"第二类土"组成。他还认为，一切酸和盐都是各种土质与水化合而成的。贝歇尔的这些混乱观点，后来被德国化学家施塔尔发展成为一种基本理论。

施塔尔把贝歇尔的说法扩充起来，形成"燃素说"的基本理论。施塔尔认为，可燃要素不是"油土"，而是某种细微的气态物质，是没有重量、难以觉察的燃素，这就是燃素说

目的性生命

施塔尔最终未能对什么是灵魂做出解释。他认为，根据当时的科学水平，对人体组织作出物理描述简直是不可能的。在生命机体中存在着某种永远不能解释为机械力量的生命要素存在。这一目的性的生命是当时所流行的机械论观点所无法解释的。图为施塔尔生活时期用于医学的人体结构模型，男性和女性身体简单地结合在一起，足以显现出当时医学的有限性。

普利斯特里的实验室　威廉·埃利斯　1792年

图中是普利斯特里在伯明翰的实验室的房子，他在那里进行了分解出氧气的历史性实验。后由于普利斯特里同情法国革命，这所房子遭到一群暴徒的攻击而被焚毁。

的基本观点。施塔尔认为，燃素存在于一切可燃物中，在燃烧过程中释放出来，同时发光发热。燃烧是分解过程：

可燃物 = 灰烬 + 燃素

金属 = 煅灰 + 燃素

如果将金属煅灰和木炭混合加热，煅灰就吸收木炭中的燃素，重新变为金属，同时木炭失去燃素变为灰烬。木炭、油脂、蜡都是富含燃素的物质，燃烧起来非常猛烈，而且燃烧后只剩下很少的灰烬；石头、草木灰、黄金不能燃烧，是因为它们不含燃素。酒精是燃素与水的结合物，酒精燃烧时失去燃素，便只剩下了水。空气是带走燃素的必需媒介物。燃素和空气结合，充塞于天地之间。植物从空气中吸收燃素，动物又从植物中获得燃素，所以动植物易燃。富含燃素的硫磺和白磷燃烧时，燃素逸去，变成了硫酸和磷酸。硫酸与富含燃素的松节油共煮，磷酸与木炭密闭加热，便会重新夺得燃素生成硫磺和白磷。而金属和酸反应时，金属失去燃素生成氢气，氢气极富燃素。铁、锌等金属溶于胆矾溶液置换出铜，是燃素转移到铜中的结果。

普利斯特里的发现

普利斯特里是在施塔尔之后，发现氧气也就是“燃素”的科学家。1771年，普利斯特里采用加热各种物质并收集它们析出的气体的方法进行实验。在这过程中，他发现了一种燃烧并伴有明亮火焰的气体。这种气体使燃烧和呼吸之后的空气得以恢复原状。其实这就是氧气。不过，当时普利斯特里由于受施塔尔“燃素说”的影响，没有认识到这就是氧气，而是给它取名叫“脱燃素的空气”。







普利斯特里的实验器具

普利斯特里的实验是在水槽里收集氧气。在做研究时，他发现在盛这种气体的玻璃瓶里，木炭的燃烧异常猛烈。他把两只小老鼠放进了充满这种气体的瓶子里，这两只小老鼠也一反常态，显得比平时更活泼、快活。由此，普利斯特里认识到了氧气这一特殊的气体的存在。图中展现的是普利斯特里做实验时所用的各种玻璃瓶。



植物吸收"燃素化"空气

施塔尔的燃素论认为，所有可燃性物质都含有一种微妙要素，它在燃烧时被释放出来。施塔尔承认木头是最易燃烧的物质之一，并提出植物在生长时吸收燃素，在燃烧时又释放出来，而这又可看出是对碳循环思想的预言。

燃素说在化学的历史发展过程中有着重要的意义。17、18世纪，化学科学处于起步阶段，很少有统一的有组织的群体协作，整个化学界缺乏领袖人物和主导思想，而燃素说却能用统一的观点来解释和研究完全不同的各种现象，使化学第一次有了系统而比较接近于科学的发展。

拉瓦锡——化学思想的革命者

Episode Ⅳ

安托万·洛朗·拉瓦锡

法国化学家，近代化学的奠基人之一。他曾根据化学实验的经验，用清晰的语言阐明了质量守恒定律和它在化学中的运用。这些成就，特别是他所提出的新观念、新理论、新思想，为近代化学的发展奠定了重要的基础。他也因此被后人称为“近代化学之父”。

燃素说曾使许多化学家深信不疑。但18世纪中期以后，化学分析方法成了化学研究的主要方法，从18世纪60年代开始，化学家们开始注意对某些化学变化中产生的气体进行研究。人们在化学分析研究和气体实验基础上所获得的新的实验事实与燃素说产生了尖锐的矛盾，燃素说受到了普遍的怀疑，其统治地位开始动摇。1774年，氧气被发现，化学也由此迎来大发展的转折点。

氧的发现，应归功于英国化学家约瑟夫·普利斯特里（1733—1804年）和瑞典化学家舍勒（1742—1786年）。

普利斯特里的重大贡献就是1772年发现二氧化氮，1773年发现氨，1774年发现二氧化硫。

1774年，普利斯特里利用一个大凸透镜，把阳光聚焦起来，加热氧化汞，用排水集气法收集产生的气体，点燃的蜡烛碰到这种气体即大放光芒，这正是氧气。可惜的是，普利斯特里束缚于传统的经验和燃素说，因而得出该气体是“脱燃素空气”的错误



拉瓦锡的实验室模型

拉瓦锡是一位富翁，一生致力于科学研究。他将布莱克、卡文迪什和普利斯特里等科学家们的实验工作集中到一起，并将他们的结果放到一个概念的框架中，使化学向前发展到一个全新的水平。图为拉瓦锡于1789年在巴黎的实验室模型。

结论。就这样，普利斯特里“在真理碰到鼻尖上的时候，却没有得到真理”。法国科学家居维叶就此事评价说：“普利斯特里是现代化学之父，但他始终不承认自己的亲生女儿。”

另一位发现氧的化学家是舍勒。这位一生处于贫困之中，用简陋的仪器在寒冷的实验室中做了大量实验，年仅44岁就去世的化学家，所发现的新化合物之多，在18世纪是史无前例的。舍勒在1773年用两种方法制得了比较纯净的氧气。第一种方法是将硝酸钾、硝酸镁、碳酸银、碳酸汞、氧化汞加热，就会放出氧气。第二种方法是将黑锰矿（二氧化锰）与浓硫酸共热，产生氧气。他把这种气体叫做“火气”。舍勒的研究成果发表在《论空气和火的化学》中。舍勒是燃素学说的信奉者，他认为燃烧是空气中的



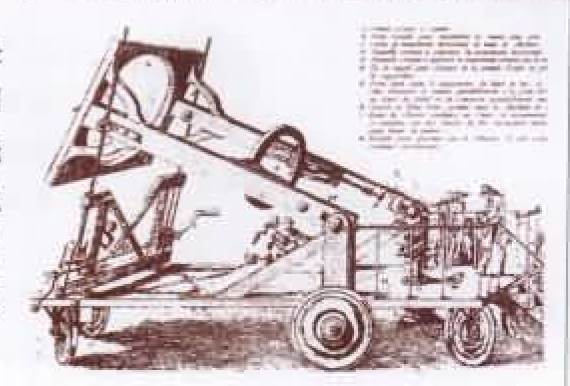
卡路里计量器

图为拉瓦锡的卡路里计量器。在实验时，一只豚鼠被放在计量器中央室中，从它身体发出的热量使它周围的冰融化。而拉瓦锡就此断定出生物体中的热来自氧化，即燃烧。

拉瓦锡实验设备（草图）

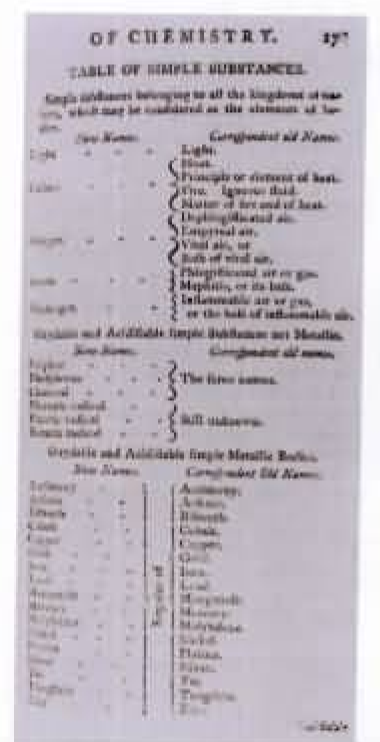
拉瓦锡的成果已远远超出了解释孤立的实验。他得出结论说，所有的物质都是由少数纯净而不能再分的元素物质化合而成的，而这些元素又能结合成几乎无穷种类的化合物。当拉瓦锡在1789年公布其《论化学元素》一书时，四元素理论的传统思想便终于随之寿终正寝。图为拉瓦锡实验的各种设备，他用这些设备将化学物质分析到不能再分解的程度，即元素。

“火气”与燃烧物体中的燃素相结合的过程，火是“火气”与燃素形成的化合物，因此，舍勒与普利斯特里一样，虽然发现了氧气，但是都未能对燃烧现象做出正确解释。而最终揭开燃烧的秘密，使化学研究进入一个崭新时代的，是在法国大革命期间牺牲于断头台的杰出化学家安托万·洛朗·拉瓦锡（1743—1794年）。



安托万·洛朗·拉瓦锡对化学的第一个贡献，是从实验的角度验证并总结了质量守恒定律。18世纪初，俄罗斯科学家罗蒙诺索夫提出了质量守恒定律，他称之为“物质不灭定律”，其中含有更多的哲学意蕴。但由于“物质不灭定律”缺乏丰富的实验根据，“物质不灭定律”没能得到广泛传播。后来，拉瓦锡用硫酸和石灰合成了石膏，当他加热石膏时放出了水蒸气。拉瓦锡用天平仔细称量了不同温度下石膏失去水蒸气的质量。这次意外的





OF CHEMISTRY. 177

TABLE OF SIMPLE SUBSTANCES.

Light.
Heat.
Principle or element of heat.
Fire. Igneous fluid.
Matter of fire and of heat.
Dephlogisticated air.
Empyreal air.
Vital air, or
Base of vital air.
Phlogisticated air or gas.
Mephitis, or its base.
Inflammable air or gas,
or the base of inflammable air.

The same names.

Still unknown.

燃烧火透镜

1774年，在拉瓦锡和其他院士的监督下，科学院建造了一个很大的燃烧火透镜。该透镜由两片弯曲玻璃制成，透镜形成的空间里面装满酒精；小的透镜则用来将太阳光聚集到待加热物品的熔炉上。为防止燃烧点发出的光线伤害眼睛，操作人员必须戴上黑色的墨镜才能进行操作。

拉瓦锡著名实验

在这个实验中，拉瓦锡将氧化汞放在曲颈瓶内加热，采用排水集气法收集得到了氧气，同时验证了氧气的助燃性。通过实验，他不仅推翻了化学反应中的燃素说，更进一步证明了化学反应中的能量守恒定律。

拉瓦锡元素表

拉瓦锡在1789年撰写的《论化学元素》一书中，列举了已经认识的23种元素，并说明了物质的组成是由纯净而不能再分的元素物质化合而成。由此，打破了传统的四元素理论的影响。图为拉瓦锡的元素表。不过在表中，拉瓦锡仍然认为“光”和“卡路里”是与氧一样的元素。





拉瓦锡正在验证
隔绝空气的蜡烛熄灭的原因



拉瓦锡的实验仪器

氧气的最早发现者为瑞典化学家舍勒，随后不久，英国化学家普利斯特里也同样制得了氧气，然而受到当时"燃素说"的影响，两人都没有对他们的发现做出正确的解释。拉瓦锡则在两者研究的基础上，首次以崭新的氧化说代替燃素说，给化学界的理论研究带来一次革命性的变化。图中是拉瓦锡的实验仪器。

拉瓦锡对氧气的研究实验

拉瓦锡通过无数的化学实验建立的氧化学说，终于使人们认清了燃烧的本质，推翻了统治化学理论达百年之久的燃素说，统一解释了许多化学反应的实验事实。图中拉瓦锡借助人的呼吸来对氧气进行研究。

成功使拉瓦锡养成了经常使用天平的习惯。由此，他总结出质量守恒定律，并成为他进行实验、思维和计算的基础。为了表明守恒的思想，拉瓦锡用等号而不用箭头表示变化过程，这是现代化学方程式的雏形。

拉瓦锡对化学的第二个贡献是提出了"氧理论"。1774年10月，普利斯特里访问巴黎，向拉瓦锡介绍了自己对"脱燃素空气"的发现，以及从红色水银灰制备这种"空气"的方法，这给拉瓦锡以重要启示，不久他验证了普利斯特里的水银灰化实验。但是，直到1775年底，拉瓦锡才得知以前实验中与燃烧物结合的有助燃性质的"空气"，实际上是一种新发现的气体。后来，拉瓦锡又多次进行了更精确的实验，并且弄清了空气是由一种起助燃作用的气体和另一种不助燃气体组成。起初他把这种助燃气体称为"空气的最纯部分"，后来又改称"生命空气"，最后于1779年确定为"氧"。因此，燃素不过是一种空想的物质，空气也不是什么元素。可燃物的燃烧与金属的灰化实际上不是一个失去燃素的过程，而是一个与氧结合的过程。这



样，拉瓦锡就从根本上推翻了燃素论，代之以全新的燃烧理论——“氧理论”。从1785年起，燃素论开始衰落，新的化学作为一门独立学科，在拉瓦锡的领导下朝着现代化学的正确方向发展壮大，并在《化学基础论》一书中第一次得到全面阐述。

拉瓦锡对化学的第三大贡献是否定了古希腊哲学家的四元素说和三要素说。在1789年出版的历时四年写成的《化学概要》一书里，拉瓦锡列出了第一张元素一览表。在这张表里，元素被分为四大类：

简单物质：光、热、氧、氮、氢等；

简单的非金属物质：硫、磷、碳、盐酸素、氟酸素、硼酸素等，其氧化物为酸；

简单的金属物质：锑、银、铋、钴、铜、锡、铁、锰、汞、钼、镍、金、铂、铅、钨、锌等，被氧化后生成可以中和酸的盐基；

简单物质，能成盐的土质：石灰、镁土、钡土、铝土、硅土等。

1789年，法国大革命爆发，拉瓦锡被诬陷犯有叛国罪，于1794年5月8日被处以死刑。法国数学家拉格朗日痛心地说：“他们可以一瞬间把他的头割下，但他那样的头脑一百年也许长不出一个来。”

拉瓦锡开创了化学研究的一个崭新时代，他的实验方法和理论观点对近代化学的发展产生了广泛而深刻的影响，使化学先前的所有混乱现象变为一条元素结合定律。1789年出版的教科书《化学大纲》中，拉瓦锡提供了至今仍被使用的全新的术语。他将化学安置在坚固的科学基础上，因此，他的后继者知道了他们正在做什么、正在朝哪里进发。



拉瓦锡与妻子

玛丽安娜·拉瓦锡比拉瓦锡小14岁，她还跟当时著名的古典画家大卫学习过绘画。作为一名得力的助手，她时常陪伴在拉瓦锡左右，帮助他完成实验，而且拉瓦锡著作里的许多插图都是由她亲手画的。



原子—分子学说

Episode Ⅴ

约翰·道尔顿

英国科学家约翰·道尔顿在19世纪初把原子假说引入科学主流，使化学领域有了巨大的进展。但是，道尔顿并不是首先提出所有的物质都是由极其微小的、不可毁坏的粒子——原子组成的人。"原子"这一概念是由古希腊哲学家德谟克利特提出来，甚至在他以前可能就有人提出过。虽然如此，道尔顿却在此基础上提出了一个明了的定量学说，它用来解释化学实验，并经受住了实验室的精确检验。

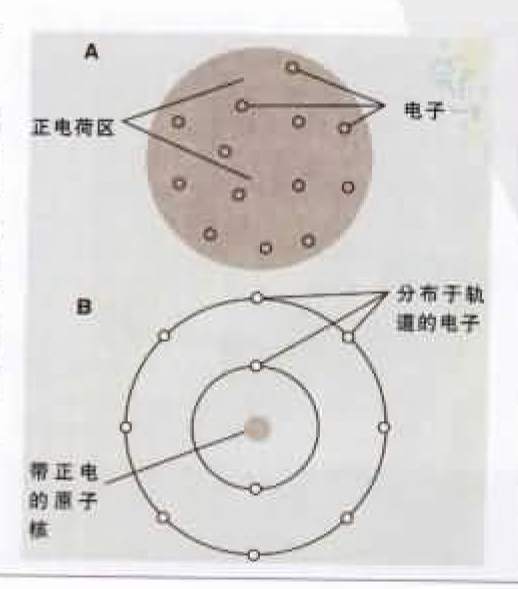
以实验为基础的现代科学观察出世界万物都是由原子构成的，它源于古代朴素的原子论。

在古希腊，原子论思想的创始人是米利都的留基波和阿布底拉的德谟克利特。留基波认为，宇宙万物都由原子组成，原子就是最小的、不可分割的物质粒子；它们既不能创生，也不能消灭，亘古以来就在无限的虚空中永远运动。德谟克利特接受并发展了留基波的原子论思想。他认为，世界是由虚空的空间和无数不能再分的、看不见的微小原子组成。仅仅以原子的结合和分离就能解释物体的产生和消灭，甚至于感觉和思想现象也是由于原子结合的结果。德谟克利特的原子论使希腊唯物主义自然哲学达到了最高峰，不但对哲学，而且对自然科学以后的发展都有着不可估量的影响。从某种意义上说，可以把它看成自然科学的渊源和起点。

差不多与古希腊同时，墨家在《墨经》中提出了

早期的原子模型

德谟克利特提出了一切物质都是由"原子"构成的观点，他还认为一切原子都是不可分的，不可毁灭的，并永远运动着。然而直到1808年，道尔顿证明了原子的存在，才使这一"原子"假说思想的模糊性逐渐发展成科学的理论。图为早期原子结构。电子的发现及排列促使原子学说的发展更近了一步。





类似于古希腊的原子论的观念，认为“端”是物质的最小单位，“端”的本义是种子萌发的芽尖。墨家指出这种微粒不再有内部联系，所以是不可分割的，墨家认为宇宙是由充实的东西和空虚的东西“虚”构成的，而充实的宏观物体又都是由“端”，即原子构成。一切宏观上充实的物体，在微观上看也有空隙存在。

物质由原子构成，虽然东西方各有见地，但一直到18世纪，尤其是18世纪后半期至19世纪中期，工业革命兴起，科学迅速发展，人们通过生产实践和大量化学、物理学实验，才加深了对原子的认识。而把古代思辨、模糊的原子假说发展为科学的原子理论，为近代化学发展奠定重要基础的，应归功于英国一个教会学校的名为约翰·道尔顿（1766—1844年）的化学教员。

约翰·道尔顿是贵格会教派的一位纺织工人的儿子，曾在教会举办的学校里接受过两年初等教育，后因家境贫困而辍学。15岁时，道尔顿在他表兄任校长的教会学校里担任助

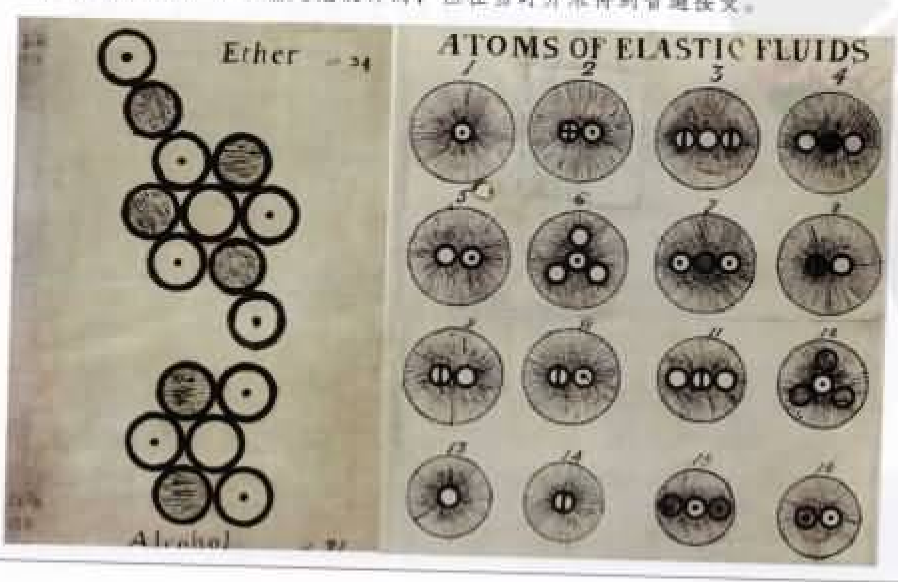
新元素铊的发现

铊是威廉·克鲁克斯于1861年发现的新元素。他在用光谱分析鉴定硫酸的残渣时发现了从未见过的带有新绿色的谱线。由此断定残渣中一定含有新元素，并把它命名为“铊”。



约翰·道尔顿元素表

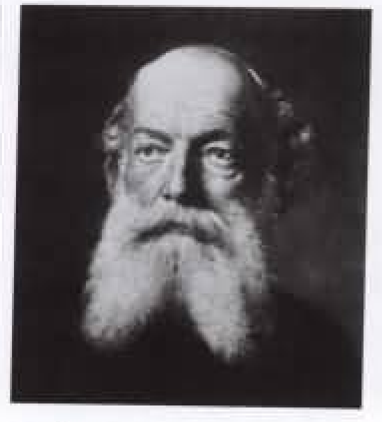
道尔顿的术语与我们现在使用的稍有不同，但是却清楚地表述了原子、分子、元素等概念。他明确指出，虽然原子总数相当大，但不同原子种类的数目却非常之小。在他的原著中，还同时列出20种原子。道尔顿认为，任何两个同类原子的所有性质包括重量都相同。在他的书中列出了一张各种不同类原子的相对重量表。这是有关这方面的第一张表，是定量原子学说的一个重要特征。图为道尔顿的元素表，图形也是他设计的，但在当时并未得到普遍接受。



道尔顿化合物图形符号

道尔顿猜想，不同化合物也许是由同样的元素按照不同比例组合而成的。比如，二氧化碳含有的氧就是一氧化碳中的2倍。遗憾的是，道尔顿在谈论这种结合时，词汇混淆不清。在猜想的同时，道尔顿还提出了一个图形符号系统来表示元素，以及表示元素如何结合起来产生化合物（如图）。但是，该图形不够灵活，在复杂的方程中很难使用。图中，1是氢，2是硫化氢，3是氰氧化物。





弗·奥·凯库勒

凯库勒是德国有机化学家和苯环的发现者。早年，他在前人工作的基础上发展了类型论，认为分子的性质主要由类型决定，并试图建立一个有机物的整体的类型学说。1857至1858年，他提出了有机物分子中碳原子为四价，而且可以互相结合成碳链的思想，为现代结构理论奠定了基础。而他的另一重大贡献则是在1865年发表《论芳香族化合物的结构》的论文，第一次提出了苯的环状结构理论。这一理论极大地促进了芳香族化学的发展和有机化学工业的进步，充分体现了基础理论研究对于技术和经济进步的巨大推动作用。

理教师。在这所学校里，无论是数学、自然科学，还是哲学、文学的书籍，他都有广泛涉猎，为以后的科研奠定了坚实的基础。

21岁时，道尔顿便开始对气象的研究，一直坚持了57年，观测总数达到2万余次，通过气象观测和对气体物理性质的研究，道尔顿常思考：为什么复合的大气，或者由两种或更多种弹性流体（气体）组成的混合物竟能在外观上构成一种均匀体？

他曾假定各种物质（气体）都是由同样大小的微粒构成。混合气体的分压定律表明一种气体的微粒能均匀地分布在另一种气体的微粒之中。由此道尔顿认为，物质的微粒结构是存在的，这些质点也许是太小了，即便采用显微镜也无法看到。这时他想起了公元前古希腊哲学家提出的原子假设，于是他选择了“原子”这一名词来称呼这种微粒。

道尔顿根据水由35份氧和15份氢组成的实验结果，得到了氧和氢化合的质量比；又由对氨气的分析得到了氮和氢化合的质量比。有了这些质量比还不够，还必须知道化合物的微粒究竟由几个原子组成，才能换算出原子的相对质量。对此道尔顿提出了由原子构成微粒（分子）的基本原则。两种元素A和B间，若只存在一种化合物，其分子为AB，若存在两种化合物，其分子为AB、ABB或AAB；若存在三种时，可能是



化学家的集会

所有的物质都是由极其微小的、不可毁坏的粒子——原子组成的，这个概念是由古希腊哲学家德谟克利特提出的。道尔顿则将这种古代思辨、模糊的原子假说发展为科学的原子理论，为近代化学的发展奠定了重要的基础。然而，每一种假说的提出，都要经历科学界的怀疑、批评与检验，道尔顿这一学说提出时，就引起了不少人的反对。图中是化学家在热烈讨论。

AB、AA、ABB……在这样的规定下，他以氢原子量作为基准，利用化学家对一些物质的分析结果，换算出一批原子的相对质量，这就是世界上第一张原子相对质量表。

1803年10月，道尔顿第一次讲述了他的原子论。他的基本观点可归纳为三点：(1)元素是由非常微小、不可再分的微粒——原子组成，原子在一切化学变化中不可再分，并保持自己的独特性质；(2)同一元素所有原子的质量、性质都完全相同。不同元素的原子质量和性质也各不相同，原子质量是每一种元素的基本特征之一；(3)不同元素化合时，原子以简单整数比结合。

尽管道尔顿提出的原子论存在许多错误，但是他关于原子的描述、原子量的计算是项意义深远的开创性工作，他第一次把纯属臆测的原子概念变成一种具有一定质量的、可以由实验来测定的物质实体。在阐述原子论的过程中，道尔顿又发现和他原子理论相吻合的一个实验事实：当甲乙两元素能化合生成几种不同的化合物时，则在这些化合物中与一定质量的甲元素相化合的各乙元素的质量多互成简单的整数比。于是道尔顿第一个提出了表述这一规律的倍比定律。倍比定律来自实验，很快为大家所理解和接受，成为原子理论的实验论据之一。

最早提出原子论的是古希腊哲学家德谟克利特，近代科学巨人牛顿也是一位原子论者，但他认为原子乃是一些大小不同而本质相同的微粒。道尔顿则认为相同元素的原子形状和大小都一样，不同元素的原子则不同，每种元素的原子质量也都固定不变，原子量是元素原子



晶体模型

图中的模型是19世纪早期沃拉斯顿建立的晶体模型。这些木制模型表示了成组的球形原子如何形成晶体形状的原理。

道尔顿实验方案

通过实验，道尔顿明确指出，任何相同化合物的两个分子都是由相同原子组成的，由此可推出一种已知的化合物总含有相同的元素，而且这些元素之间的重量比完全一样。这就是约瑟夫·路易斯·普劳特在实验中发现的"定比定律"。道尔顿的学说非常具有说服力，不到二十年的时间就为大多数科学家所采纳，且化学家按照书中所提出的方案行事。图为有关道尔顿实验的各种方案说明，这也是当时化学家们视为教科书的重要文献。

的基本特征。

道尔顿原子论所提出的新概念和新思想，很快成为化学家们解决实际问题的重要理论。他们首先用它清晰地解释了当时正被运用的定比定律、当量定律。同时这一理论使众多的化学现象得到了统一的解释，特别是原子量的引入，原子质量是化学元素基本特征的思想，引导着化学家把定量研究与定性研究结合起来，从而把化学研究提高到一个新的水平。

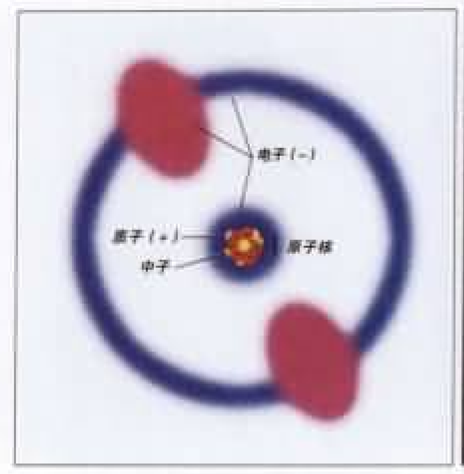
由于时代的局限，道尔顿的原子论也有不足之处，例如他把化合物当成了复杂的原子，不懂得有分子的概念，认为原子是不可分的，但又说有复杂的原子，直到阿伏伽德罗的出现，这一问题才得以克服，从而建立起科学的原子——分子学说。

道尔顿正式发表科学原子论后，法国化学家盖·吕萨克（1778—1850年）发现，参加同一反应的各种气体，在同温同压下，其体积成简单的整数比。这就是著名的气体化合体积实验定律，常称为盖·吕萨克定律。盖·吕萨克将化学实验结果与原子论相对照，发现原子论认为化学反应中各种原子以简单数目相结合的观点可以由自己的实验而得到支持。他提出了一个新的假说：在同温同压下，相同体积的不同气体含有相同数目的原子。

但道尔顿得知这一假说后，立即公开表示反对。他认为不同元素的原子大小不会一样，其质量也不一样，因而相同体积的不同气体不可能含有相同数目的原子。更何况还有一体



积氧气和一体积氮气化合生成两体积的一氧化氮的实验事实。若按盖·吕萨克的假说，n个氧和2n个氮原子生成了2n个氧化氮复合原子，岂不成了一个氧化氮的复合原子由半个氧原子、一个氮原子结合而成？原子不能分，半个原子是不存在的，这是当时原子论的一个基本观点。





意大利的物理学教授阿伏伽德罗（1776—1856年）仔细考察了吕萨克和道尔顿的气体实验，于1811年写下《原子相对质量的测定方法及原子进入化合物的数目比例的确定》的论文，在文中他首先声明了自己的观点来源于吕萨克的气体实验事实，接着明确提出了分子的概念，认为单质或化合物在游离状态下能独立存在的最小质点称做“分子”，单质分子由多个原子组成。他提出：“在同温同压下，相同体积的不同气体具有相同数目的分子。”“原子”改为“分子”的改动，正是阿伏伽德罗假说的奇妙之处。根据假说，阿伏伽德罗进一步指出，可以根据气体分子质量之比等于它们在等温等压下的密度之比来测定气态物质的分子量，也可以由化合反应中各种单质气体的体积之比来确定分子式。

原子这一概念及其理论被多数化学家所接受，并被广泛地运用来推动化学的发展，关于分子的假说却遭到冷遇。1814年，阿伏伽德罗又发表了第二篇论文，继续阐述分子假说。1821年，已清楚认识到分子假说在化学发展中的重要意义的阿伏伽德罗又发表了阐述分子假说的第三篇论文。

雅各布·贝采利乌斯

在发展原子论方面，贝采利乌斯认为，为了确立原子学说首先应以最大的精确度测出尽可能多的元素的原子量。1814到1826年，他所发现的元素数量达到50种之多，其中包括新元素：铈、硒、钍。而他所提出的新元素符号体系，沿用至今。

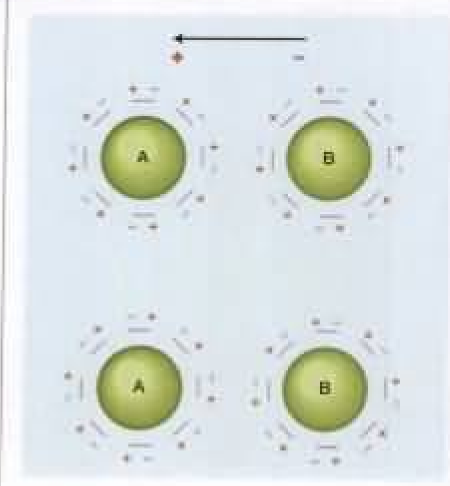
原子结构示意图

1803年，道尔顿首次宣读了关于原子论和原子量计算的论文，标志着化学的新时代的开始。他论文的要点是，元素的最终组成是简单原子，简单是原子不可分割，而且在一切化学变化中保持性质不变。随着近代化学的发展，科学家又发现原子是可以再分的，它是由原子核和核外电子组成，又进一步推动了近代化学的向前发展。

18世纪冶金化学家实验室模型

这是一个18世纪冶金化学家的实验室模型。而这样格局的实验室也是当时所有化学家通用的实验室类型。









电化学原子图

该图是贝采利乌斯于1818年绘出的电化学原子图，这也是化学家第一次试图解释电解的原理图。图中，当相反的电荷相互面对时，原子相互结合；而当相同的电荷相互面对时，则不发生反应。

盖·吕萨克

盖·吕萨克对原子论的发展作出了巨大贡献。1808年，他总结提出在相同温度和相同压强下相同体积的不同气体的原子数目相同的假说，后来经过阿伏伽德罗的修正，这个假说更为完善，成为阿伏伽德罗定律。

"本生灯"

19世纪50年代初，德国化学家本生发明了燃烧煤气的"本生灯"。他尝试着把各种物质放到这种灯的高温火焰里，火焰本来几乎是无色的，可当含钠的物质放进去，火焰变成了黄色；含钾的物质放进去，火焰又变成了紫色。如此连续多次的实验，使本生找到了一种新的化学分析方法。这种方法不需要复杂的试验设备，只要根据物质在高温无色火焰中发出的彩色信号，就能知道这种物质里含有什么样的化学成分。

道尔顿的原子论发表后，测定各元素的原子量成为化学家最热门的课题。尽管采用了多种方法，但因为不承认分子的存在，化合物的原子组成难以确定，原子量的测定和数据呈现一片混乱，难以统一。这时，意大利化学家康尼查罗（1826—1910年）回顾了50年来化学发展的历程，成功的经验、失败的教训都充分证实阿伏伽德罗的分子假说是正确的。经过50年曲折经历的化学家们此时已能冷静地研究和思考，终于承认阿伏伽德罗的分子假说的确是扭转这一混乱局面的唯一钥匙。阿伏伽德罗的分子论终于被确认，而这已是半个世纪后的事了。



排扑克游戏——门捷列夫发现元素周期表

Episode Ⅵ

德米特里·门捷列夫

1860年门捷列夫在为著作《化学原理》一书考虑写作计划时，深为无机化学的缺乏系统性所困扰。于是，他开始搜集每一个已知元素的资料和数据，并把前人在实践中所得成果，凡能找到的都收集在一起。这些关于元素问题的长期实践和认识资料，为他提供了丰富的材料。在前人所得成果的基础上，门捷列夫发现一些元素除有特性之外还有共性，而这也正是他创立元素周期表的重要基础。

道尔顿的原子论提出后，人们对元素的概念更清晰了，许多化学家都把测定各种元素的原子量当做一项重要工作，这样就使元素原子量与性质之间存在的联系逐渐展露出来。

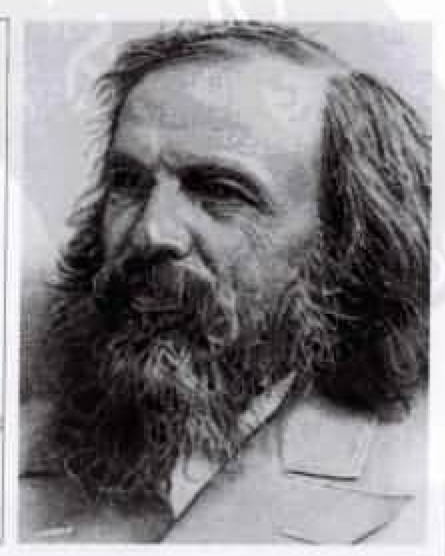
1829年，德国化学家德贝莱纳（1780—1849年）提出“三元素组”观点，把当时已知的44种元素中的15种分成5组，指出每组的三元素性质相似，而且中间元素的原子量等于较轻和较重的两个元素原子量之和的一半。例如钙、锶、钡性质相似，锶的原子量大约是钙和钡的原子量之和的一半。氯、溴、碘以及锂、钠、钾等元素也有类似的关系。

1862年，法国化学家尚古多（1820—1886年）提出一个“螺旋图”的分类方法。他将已知的62种元素按原子量的大小顺序标记在绕着圆柱体上升的螺旋线上，这样某

门捷列夫手稿

门捷列夫在尝试为各种元素排序时，为每个元素都建立了一张长方形纸板卡片。他在每一块长方形纸板上写上元素符号、原子量、元素性质及其化合物名称，然后把它们钉在实验室的墙上。经过一系列的排队以后，他终于发现了元素化学性质的规律性。因此，有人将门捷列夫对元素周期律的发现看成是玩扑克牌，门捷列夫却往往给予最严肃的反驳。此图是门捷列夫研究元素周期表时的手稿。







些性质相近的元素恰好出现在同一母线上。

1864年，德国化学家迈尔在他的《现代化学理论》一书中刊出一个“六元素表”。可是虽然他的表中只列出了已知元素的一半，但他已明确指出：“在原子量的数值上具有一种规律性，这是毫无疑义的。”

1865年，英国化学家纽兰兹（1837—1898年）提出了“八音律”一说。他把当时已知的元素按原子量递增顺序排列在表中，发现元素的性质有周期性的重复，第八个元素与第一个元素性质相近，就好像音乐中八度音的第八个音符有相似的重复一样。

“六元素表”、“八音律”存在许多错误，但是应该看到，从“三元素组”到“八音律”都从不同的角度，逐步深入地探讨了各元素间的某些联系，使人们一步步逼近科学的真理，也为门捷列夫最终发现元素周期律奠定了基础。

1834年，门捷列夫出生于俄国西伯利亚托波尔斯克市，他自幼有出众的记忆力和数学才能，更善于在实践中学习，中学毕业后，门捷列夫来到莫斯科求学。因他不是出身于豪门贵族，又来自边远的西伯利亚，莫斯科、彼得堡的一些大学拒绝他入学。后来通过父亲同学的帮助，门捷列夫进入了父亲的母校——彼得堡高等师范学校物理数学系。

1854年，门捷列夫以优异的成绩毕业，他先后到过辛菲罗波尔、敖德萨担任中学教师，获得“一级教师”的称号和金质奖章。1856年5月，他又以突出的成绩通过化学学位的答辩。这年，彼得堡大学破格任命他为化学讲师。

1859年，门捷列夫获准去德国海德堡本生实验室进行深造，并参加了在德国卡尔斯鲁厄举行的第一届国际化学家会议。1865年，门捷

以元素周期律安排的样品元素

元素周期律揭示了一个非常重要而有趣的规律，即元素的性质随着原子量的增加呈周期性的变化，但又不是简单的重复。根据这一道理，门捷列夫不但纠正了一些有错误的原子量，还先后预言了15种以上未知元素的存在。结果，有3个元素此后陆续被发现。1875年，法国化学家布瓦博德兰根据周期表找到了第一个待填补的元素，并命名为镓。这个元素的一切性质都和门捷列夫预言的一样。图为按元素周期律安排的样品元素。

列夫被任命为彼得堡大学教授，讲授无机化学。

门捷列夫在讲无机化学时面临着一个巨大的困难：这门学科发展很快，现有的教科书完全不适应新的要求，迫切需要有一本新的能够反映当代化学科学发展水平的无机化学教科书。

于是，门捷列夫决定亲自编写一部最新的教科书，这就是后来的《化学原理》，其中包括了对化学元素的具体描述。门捷列夫仔细研究了世界上各种对化学元素进行介绍的资料，对人类当时已知的63种化学元素的原子量、物理化学性质都有十分详细的了解。





纽兰兹

英国分析化学家和工业化学家。他于门捷列夫之前，发现并研究了化学元素性质的周期性。但他的想法即元素“八音律”当时未被人们接受。到元素周期系确立后，人们才承认了纽兰兹的重要发现。

晚年的门捷列夫

门捷列夫的《有机化学》一书使他获得至高威望。为了写这本书，他几乎两个月没离开过书桌。年过七旬的他，积劳成疾，竟双目半盲。每天从清晨工作到下午5时30分，晚饭后还继续工作到深夜。最后，他是在书桌前死去的，去世时手里还握着笔。这样的治学精神，让我们真正领会到天才产生的实质。照片中晚年的门捷列夫仍是一副潜心治学的模样。

为了能将各种元素排列起来，门捷列夫制作了很多卡片，在每一张卡片上都写上了元素的名称、原子量、化合物的化学式和主要性质。之后，他把卡片加以系统整理。他先是把卡片分成3组，按元素的原子量大小排列，但毫无结果。他打乱了这种组合，又把它们排成几行，将各行中性质相似的元素排成横行。终于，各种元素之间的联系表现出来了，门捷列夫激动了。每一行元素的性质都是按照原子量的增大而自上而下地逐渐变化着。例如，锌的性质与镁相近，这两个元素便排在相邻的两行中。根据原子量，在同一行中紧挨着锌的应该是砷。如果把它直接排在锌的后面，砷就落到铝的一行中去了。但是，这两个元素在性质上并不相近。如果把砷再往下排，它就和硅相邻。可是硅的性质又不同于砷的性质。这样，砷可以再往下排，排在磷后面。

元素的排列有规律！门捷列夫兴奋不已。但是，在锌和砷之间还留有两个空位，这又如何解释呢？门捷列夫激动地想，这些空位也许属于尚未发现的元素，而它们的性质应与铝和硅很相近！







阿斯顿的质谱仪

阿斯顿是英国物理学家，他长期从事着同位素和质谱的研究。在研究中，他首次制成了聚焦性能较高的质谱仪，并用此对许多元素的同位素及其丰度进行测量，从而肯定了同位素的普遍存在，并验证了门捷列夫周期表的准确性。

化学仪器

这是拉瓦锡《化学基本教程》一书中的化学仪器的插图，门捷列夫化学元素表的制定就是建立在大量的实验和分析基础上的。

门捷列夫纪念邮票

以先行者提供的信息为基础，门捷列夫通过自己的努力，于1869年编成了他的第一张元素周期表。图是为纪念门捷列夫第一张元素周期表，于1969年发行的邮票。

门捷列夫拿起铅笔，在纸的右上角写道："根据元素的原子量及其化学性质近似试排的元素表。"这是1869年3月1日，俄历2月17日。

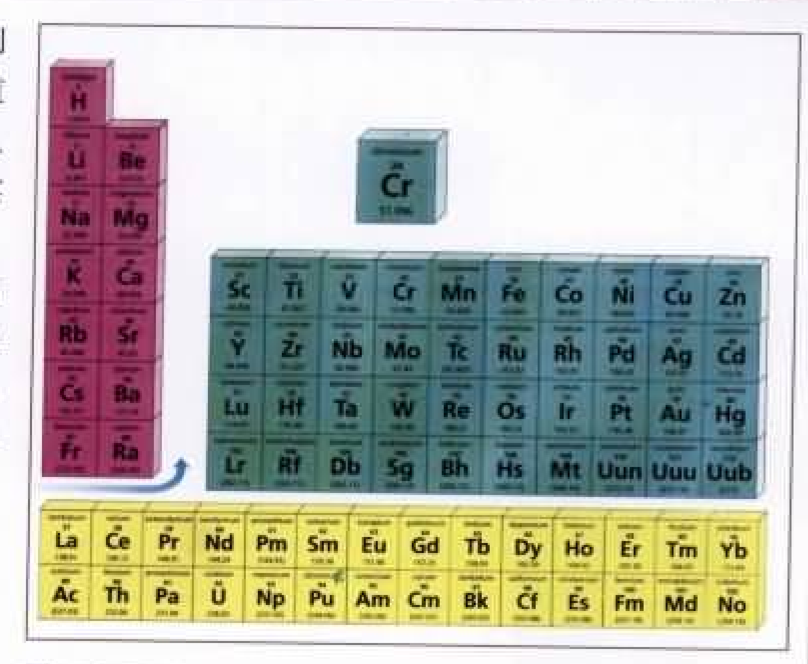
门捷列夫在化学元素符号的简单排列中发现了规律，于是便集中力量解决元素的排列问题。经过半年的努力，他已收集到关于元素氧化物的组成和性质的足够材料。通过深入的研究、实验和测定，门捷列夫弄清了一些元素的原子量。他按照元素的原子量把它们排在性质相近的元素行列中。门捷列夫看到，元素有着清楚的系统性，元素的性质随着原子量的改变而改变。

1871年，门捷列夫发表了关于周期律的新的论文。文中他修正了前一个元素周期表。在前一表中，性质类似的各族是横排，周期是竖排；在新表中，族是竖排，周期是横排，这样各族元素化学性质的周期性变化就更为清晰。同时他将那些当时性质尚不够明确的元素集中在表格的右边，形成了各族元素的副族。在前表中，为尚未发现的元素留下4个空格，而新表中则留下了6个空格。这样，第一张元素周期表诞生了！

门捷列夫深信所发现的周期律是正确的。他以周期律为依据，大胆指出当时某些元素公认的原子量是不准确的，应重新测定。例如，铀公认的原子量是116，是三价元素。门捷列夫根据铀的氧化物与铬、钼、钨的氧化物性质相似，认为它们应属于一族，因此铀应为六价，原子量约为240。经测定，铀的

原子量为238.07，证明门捷列夫的判断正确。基于同样的道理，门捷列夫还修正了铟、镧、钇、铒、铈、钍的原子量，事实验证了周期律的正确性。

根据元素周期律，门捷列夫还预言了一些当时尚未发现的元素的存在和它们的性质。他的预言与尔后实践的结果取得了惊人的一致。



元素周期表

门捷列夫根据元素周期律所编制的第一个元素周期表，把已经发现的63种元素全部列入表里，从而初步完成了使元素系统化的任务。他还在表中留下空位，预言了类似硼、铝、硅的未知元素的性质，并指出当时测定的某些元素原子量的数值有错误。在若干年后，他的预言都得到了证实。图为现在所通用的元素周期表。

1875年，法国化学家布瓦博德兰在分析比利牛斯山的闪锌矿时发现一种新元素，他为它命名为"镓"，并把测得关于镓的主要性质公布了。不久他收到了门捷列夫的来信，门捷列夫在信中指出：关于镓的比重不应该是4.7，而是5.9至6.0。1876年9月，布瓦博德兰重做实验，将金属镓提纯，重新测定，结果镓的比重确实为5.94（现代值为5.91），事实证明了门捷列夫这一理论的巨大意义。

镓的发现是化学史上第一个事先预言的新元素的发现，它雄辩地证明了门捷列夫元素周期律的科学性。1880年瑞典的尼尔森发现了钪，1885年德国的文克勒发现了锗。这两种新元素与门捷列夫预言的类硼、类硅也完全吻合，门捷列夫的元素周期律再次经受了实践的检验。

门捷列夫发现的化学元素周期律揭示了物质世界中看似互不相关的元素间存在相互依存的关系，它们组成了一个完整的自然体系。从此，新元素的寻找，新物质、新材料的探索有了一条可遵循的规律。元素周期律作为描述元素及其性质的基本理论，有力地促进了现代化学和物理学的发展。





动植物的分类



第四编　科学革命

进入19世纪后，西方各国的资本主义世界体系最终确立。经济的飞速发展，使科学在社会进步中的作用日益凸显，并且提出了更多更新的技术要求，科学已被当做唯一有价值的知识源泉，奠定了它在近代社会发展中的统治地位。19世纪是科学显示强大威力的时代，是科技革命和发明的时代，也是为新的、更高层次的现代社会奠基的时代。

19世纪三大科学发现

SHIJIUSHIJISANDAKEXUEFAXIAN

中国：

清朝康熙年间，出版《康熙几暇格物论》，内有早已灭绝的古代毛象的记载。

1688年，陈淏在《花镜》一书中，指出植物随气温而变异，并记有植物嫁接法。

1742年，《授时通考》出版，是有关农业、园艺及工业的重要著作，内有栽培植物的考证。

1742年，帅念祖的《巨田编》有人工选择的记载。

1830年，王清任著成《医林改错》，在观察尸体的基础上，对古代的人体解剖图作了更正。

1840年，吴其浚著成《植物名实图考》，按实物绘图，为中国19世纪主要的植物著作。

1853年，张福僖与英国人艾约瑟合译《光论》，是中国近代最早的光学译著。

英国：

1727年，哈尔斯出版《植物静力学》，1733年出版《动物静力学》，将力学实验法导入生理学。

1798年，汤普森认为能够连续不断产生出来的热，不可能是物质，主张热之唯动说。

1807年，托·杨首次把活力叫做能量。

1831年，罗·布朗首次发现细胞核。

1850年，汤姆逊总结热力学第二定律。

1858年，达尔文、华莱士分别提出“自然选择”理论，认为物种进化是在自然选择的基础上实现的。

1859年，达尔文发表《物种起源》，奠定了进化论的基础。

1863年，赫胥黎明确论证了人是猿猴进化而来的观点。



19世纪是科学技术发展史上的重要时期，现代科学的重大领域都是在这一时期奠定了基础。这时期的科学技术研究领域十分广泛，从宏观到微观，从生物到自然，无不取得重大成就。科学研究的新成果不仅拓宽了科研领域，而且对17、18世纪的一些“经典”理论提出了挑战，深化了人们对自然界的认识。可以说，19世纪是科学显示强大威力的时代，是科技革命和发明的时代，也是为新的、更高层次的现代科学奠基的时代。



进化论——神创生命

Episode Ⅰ

创造之日
布雷克　1824年

达尔文的革命是科学伟大革命中所提到的唯一的生物学革命。它摧毁了以人为宇宙中心的宇宙观，而且“在人的思想中引起了一场比文艺复兴时期科学再生以来、任何其他科学的进步更伟大的变化”。人们通常列举的科学中的伟大革命，一般都与自然科学家们的名字联系在一起，而达尔文革命则给予人类自我陶醉的自我形象以沉重打击，而另外两次革命则是哥白尼和弗洛伊德所掀起的革命。因为对《圣经》中上帝创造世界情景的描绘，它逐渐与发展起来的科学形成对立。

18世纪以前，《圣经》及其宣扬的神创论（或创世说、特创论）在西方学术界、知识界以及整个西方文化中占据着统治地位。

神创论认为，地球及万物是上帝在大约6000年以前，即公元前4004年10月26日上午9:00创造出来的。自从被上帝创造出来以后，地球上的生命没有发生任何变化。在那个时代，大多数人相信世界是上帝有目的地设计和创造的，由上帝制定的法则所主宰，是有序协调、安排合理、美妙完善且永恒不变的。并且，那个年代所有著名的学者都毫不怀疑地相信“圣经”的字面解释，那时候，谁要是反对《圣经》，或与《圣经》的说法不一致，就会被认为是大逆不道，将会被教会处以严峻刑罚。最早研究血液循环的西班牙医生塞

上帝创造亚当
布雷克　1795年

在英国画家布雷克的作品中，上帝以雷霆万钧之势，在混沌大地上创造了人类。当上帝之手碰触到亚当，则给予了他完全的生命。但缠绕在亚当身上的蛇却象征着人类未来的堕落。



尔维特，宣传日心说的意大利哲学家布鲁诺，都因此而被烧死在刑场。就连著名的生物学家林奈，也对《圣经》的“神创论”深信不疑。

林奈（1707—1778年）是瑞典植物学家，首先构想出定义生物属种的原则，并创造出统一的生物命名系统。

17世纪后，随着科学技术的发展，博物学家搜集到大量的动物、植物和化石等标本。在1600年，人们知道了约6000种植物，1700年，植物学



创造天地　米开朗琪罗　1511年

作品中的上帝正坐在云端，从地面升腾而起。顷刻间，大地和天空从黑夜转到白昼，黑暗瞬间光明，万物充满生机。这是神创论在艺术领域的反映，在数世纪的时间里，大多数人都相信着上帝创造世界的传说。而当19世纪的生物学试图打破这一亘古不变的经典时，自然也遭到了各种抵制和嘲讽。



救济院旁的植物园

1741年的林奈担任乌普萨拉大学的临床医学教授。但不到一年，他就改任植物学教授。在林奈担任大学植物园主管职务时，这里已经种植了大约3000种植物。在他的带领下，该大学成为当时世界植物学界的中心。林奈同时还在大学旁建造了一座博物馆，以供收集植物标本所用。图中描绘的是当时林奈带领学生种植植物和草药的情景。



观看林奈的著作

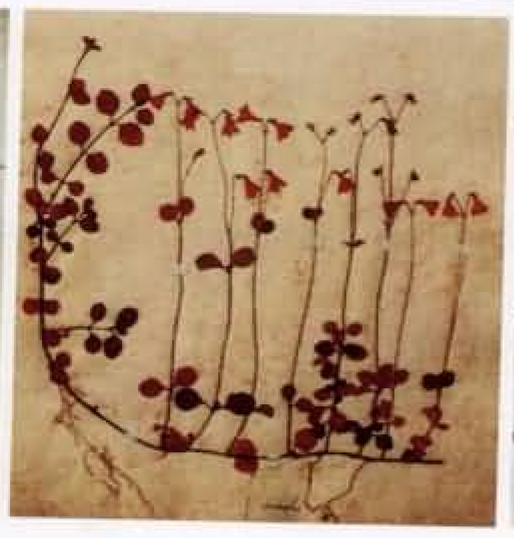
早在《植物种志》和《自然系统》两本书中，林奈就初步建立了对生物的“双名制命名法”，即用2个拉丁字构成生物某一物种的名称。第一个字是属名，第二个字是种名，两者组成一个学名，后面还附有定名人的姓名。这一分类法和命名法，使已知的各种生物可以排成一个有规则的系统，结束了过去生物学在分类命名上的混乱现象。图中，人们正聚集在一起阅读林奈已出版的最新著作。

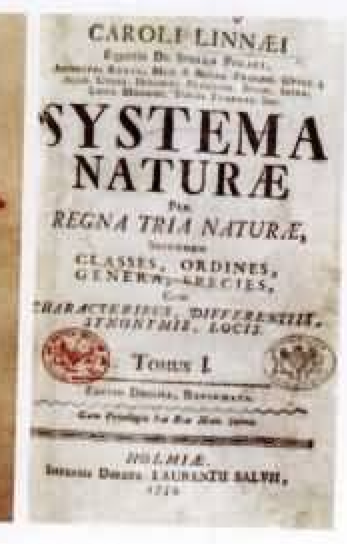
林奈

在物种起源问题上，林奈最初也是一个神创论者。但在亲自研究和大量生物进化事实的冲击下，其神创论观点发生了根本性动摇。在他撰写的《自然系统》第十版中，他删去了造物主创造的物种数目始终不变以及不能产生新物种的断言，而加入到进化科学的队伍中。









植物花蕊

林奈发现整个植物王国可以根据花的花蕊来分类，他首先根据雄蕊数目的不同创建了一个植物群，称之为纲；然后在每一个纲中根据雌蕊数目的不同划分出目，每一目中又包含有类、或属，依此往下推，就是物种。

林奈的植物标本

在学习期间，林奈不怕艰难，到荒凉的拉普兰探险，采集植物标本，并写成了《自然系统》一书。在林奈的植物系统中，他是以花的结构为研究基础的，随着植物学的快速发展和大量植物的出现，这一研究为植物学家分科植物带来很大便利。

林奈著《自然系统》扉页

作为近现代生物分类方法的奠基人，林奈最著名的著作是《自然系统》，他的系统研究中，主要以花的构造为基础，这一系统的建立，使学者可以迅速将植物归入到一个定了名的类别中去。

家又发现了12000个新种。至18世纪，对生物物种进行科学的分类变得极为迫切。林奈正是这一科学发展新时期的一位杰出代表。

林奈的父亲是一位爱好园艺的乡村牧师，受到父亲的影响，林奈十分喜爱植物，八岁时得“小植物学家”的别名。小学和中学，林奈的学业不突出，只是对树木花草有异乎寻常的爱好，他大部分时间和精力都用在了野外采集植物标本及阅读植物学著作上。

从1727年起，林奈先后进入龙得大学和乌普萨拉大学，系统地学习了博物学及采制生物标本的知识和方法。1732年，林奈随一个探险队来到瑞典北部拉帕兰地区进行野外考察。在这里，他发现了100多种新植物，收集了不少宝贵的资料。1735年，林奈周游欧洲各国，并结识了一些著名的植物学家，得到了国内所没有的一些植物标本。周游欧洲各国的三年，是林奈学术思想成熟、锋芒初露的阶段。1735年出版了仅14页的《自然系统》，其著名的“植物24纲系”即首次发表于此。林奈所提出的分类系统，因便于检索，深受当时学界欢迎。他奠定了近代植物分类学基础的《植物种志》始作于1746年，历经6年完成，于1753年出版。



动植物的分类

由于林奈的进化观点在当时没有得到公认，因而对分类学影响不大。直到1859年达尔文的《物种起源》出版以后，进化思想才在分类学中得到贯彻，并明确了分类研究在于探索生物之间的亲缘关系，系统分类学由此诞生。分类系统是阶元系统，通常包括七个主要级别：种、属、科、目、纲、门、界。随着研究的进展，分类层次也随之不断增加。图中如储藏柜一样的分类画面正是对分类学最形象的描绘。



《植物哲学》书影

在这部著作中，林奈证明了植物的有性繁殖现象，而且还根据花的雌蕊和雄蕊的情况对植物进行了分类。然而他分类的自然系统仍源于上帝创造说。

《自然系统》是林奈人为分类体系的代表作，该书在多次再版过程中，不断地大量增补和修订，在1758年刊行的第十版，已扩展为1384页的巨著。在这一版中，他首次对动物分类采用"双名法"，成为近代动物分类学的起点。他将动物界分为哺乳、鸟、两栖、鱼、昆虫及蠕虫等六纲；界下设纲、目、属、种四个阶元。他一生的最大贡献是确立了生物分类的双名法，即植物的常用名由两部分组成，前者为属名，要求用名词；后者为种名，要求用形容词。林奈规定学名必须简化，以12个字为限，这就使资料清楚，便于整理，有利于交流。林奈的植物分类方法和双名制被各国生物学家所接受，植物王国的混乱局面也因此被他调理得井然有序，大大促进了科学分类学的发展。

受宗教影响，林奈相信上帝创造万物，长期持有物种不变的观念。他对植物类群的划分，是以雄蕊数目为依据的——相同雄蕊数目的植物，被划进同一个类群。根据雄蕊和雌蕊的类型、大小、数量及相互排列等特征，林奈将植物分为24纲、116目、1000多个属和10000多个种。在《自然系统》一书中，林奈对"物种不变"观念进行了专门论述。然而，由于在长期实践中看到了物种数目逐渐增多的现象，晚年的林奈对"物种不变"观念的坚持有所动摇。在1776年出版的《自然系统》第十二版中，他删去了"种不会变"的论述。

18世纪生物学的进步是和林奈紧紧相连的。瑞典政府为纪念林奈这位杰出的科学家，先后建立了林奈博物馆、林奈植物园等，并于1917年成立了瑞典林奈学会。

进化论的先驱们

Episode Ⅱ

布丰

在植物学和动物学的启蒙时代，法国理性主义思想家就在为有关生命物种寻求生命如何自然发生的根据。而当时的一位主要博物学家布丰就为这一思想树立了权威。布丰的观点直接来源于英国科学家约翰·尼达海姆的一些实验工作。在1748年，尼达海姆就已经在显微镜下观测到动植物的自然生殖。由此，排除上帝创造而自然产生的物种学说就成为了布丰坚持的理论。

在进化论产生的过程中，主要的先驱是法国博物学家乔治·布丰（1707—1788年）。

乔治·布丰是第一个提出广泛而具体的进化学说的博物学家。青年时期，布丰跨越英吉利海峡到达英国。在那里，他被英国的学术气氛所感染，并折服于大科学家牛顿的理论，开始埋头研究物理学。回法国后，他一边将英国学者的著作翻译成法文，一边自己进行研究，并发表科学论文。1739年，他获得了皇家科学院合作院士的头衔，并荣任皇家植物园的总管。从此，他的研究方向又转向了动植物和地球演化。

广泛的兴趣、深入的钻研和优美的文笔，是布丰的长处，也是他完成浩瀚的44卷《自然史》的保障。这部巨著内容广博，包括地球、鸟类、矿物、卵生动物等知识，是除了无脊椎动物以外的植物界和动物界的完整自然史。百科全书式的《自然史》给后来的研究者提供了丰富的素材，优美动人的文笔也将法国公众的兴趣引向了生物学领域。

布丰将神学排斥在科学研究之外。综合各方面的资料，他认为地球的年龄不可能如《圣经》所显示的只有几千年的历史，地球年龄起码也有10万年以上。布丰还大胆地提出，人应当是动物中的一员。他在著书立说中，都是以实际的证据为依据进行论述，而不是引用宗教的教义。摆脱了宗教的束缚，生物学的大发展才成为可能。

布丰眼中的四足动物

这是布丰著作《四足动物自然史》中的一幅插图，表现了南美洲一种小型食肉哺乳动物。布丰使自然史成为一门真正的科学，在他之前的自然主义者只忙于为动物分类，而他则注重对它们进行描绘。这不仅是仔细地剖析，还描写了它们的习性和生活方式，从动物生态学和自然环境学的角度进行了阐述。



布丰的科学论著使他被欧洲主要国家的科学院接纳为成员，法国国王路易十五授予他"布丰伯爵"的爵位。

1788年，布丰在巴黎去世，这是林奈逝世10周年，法国大革命的前一年。在革命的非常时期，布丰的陵墓被毁坏，他的儿子也上了断头台，但科学以它固有的步伐前进，进化论的思想又被拉马克发现。

拉马克(1744—1829年)，法国博物学家，生物学奠基人之一，生物学一词是他发明的，也是他最先提出生物进化学说，是进化论的倡导者和先驱。主要著作有《法国全境植物志》、《无脊椎动物的系统》、《动物学哲学》等。





HISTOIRE
NATURELLE.

PREMIER DISCOURS.

De la manière d'étudier & de traiter l'Histoire Naturelle.

L'Histoire Naturelle prise dans toute son étendue, est une Histoire immense; elle embrasse tous les objets que nous présente l'Univers. Cette multitude prodigieuse de Quadrupèdes, d'Oiseaux, de Poissons, d'Insectes, de Plantes, de Minéraux, &c. offre à la curiosité de l'esprit humain un vaste spectacle, dont l'ensemble est si grand, qu'il paroît & qu'il est en effet inépuisable

A

拉马克进化论的声音

拉马克在其进化论学说中提出，物种是可以变化的，种的稳定性只有相对意义。当环境变化后，为适应新的环境，生物的某些生活习性就会相应变化，一些常使用的器官增大，一些器官则逐渐退化。就是在这种完善适应新环境的过程中，生物逐渐变成了新种。同样猿到人类的这跨越性的一步，就是为适应从树居到地面生活而变化的。

《自然的历史》 插图

布丰认为，地球和它的生命形式是在漫长的发展过程中形成的。"时间总是受到大自然的支配，并代表着一种无约束的力量。大自然就是利用它来完成最小和最大的任务"。这一观点在其著作《自然的历史》中有非常详细的阐述，图为该书序言部分的书影。

拉马克1768年与让·雅克·卢梭相识，卢梭使拉马克由一个兴趣广泛的青年，转向专注于生物学的研究。从此拉马克花了整整26年的时间，系统地研究了植物学，于1778年写出了名著《法国全境植物志》。后又研究动物学，1793年受聘为巴黎博物馆无脊椎动物学教授，于1801年完成《无脊椎动物的系统》一书，此书中他把无脊椎动物分为10个纲，是无脊椎动物学的创始人。1809年出版了《动物学哲学》，当时他虽已65岁，但仍潜心研究并写作，于1817年完成了《无脊椎动物自然史》。

《无脊椎动物的系统》、《动物学哲学》在科学史上具有重要的地位。拉马克在《动物学哲学》中系统地阐述了他的进化学说，包括传衍理论、进化等级说以及进化的动力和机理三个部分。传衍理论认为：生物是可变的，且是逐渐进化的，一些最简单的生物通过"自



Citez les fourmilliers parmi
les quadrupèdes qui ne vivant que de
fourmis qu'ils attrapent en faisant
sortir de leur bouche une langue qui la
et cylindrique et la retirant avec la proie
n'ont eu aucun usage a faire des dents
après de pareilles habitudes les
dents ont dû disparaître infaillible-
ment et en effet ils en manquent.



拉马克与变化说

拉马克认为，在动物身上，需要产生必要器官。常使用的器官会逐渐强壮优化，而不使用或很少使用的则退化甚至消失。在图中的拉马克手稿上，他以食蚁兽的牙齿为例充分证明了以上观点。

始祖鸟化石

图中是于1861年发现的始祖鸟化石。在进化论学家眼中，这一化石是爬行动物向鸟类过渡的珍稀迹象，其形体如鸟，而骨骼特征又与恐龙相似。在达尔文《物种起源》第九章中就提到过这一发现，他也将其视为过渡现象的完美保存。

拉马克雕像

拉马克是世界上第一位在其作品中明确提出生物进化学说的博物学家。他是植物学家、动物学家、气象学家和一定意义上的哲学家，更是"生物学"这一词汇的创造者。拉马克认为，在时间和环境的影响下，生物体产生新的需要，并改变生活习惯，增强自身的生存能力，其生理功能也随之发生变化。

然发生"产生(从非生命物质直接产生)，然后不同类型的简单生命通过漫长岁月的进化，逐渐发展成为各类复杂的生物；进化等级说指自然界的生物存在着由低级到高级，由简单到复杂的一系列等级。生物不断地、缓慢地由一个等级向更高一级发展变化；即进化是一个由简单、不完善的低等级向较复杂、较完善的高等级转变的进步性过程。生物进化既没有分支(没有物种增殖)，也没有生物的绝灭。对于进化的动力和机理，拉马克认为生物具有一种不断增加结构复杂性和完美性的天生趋势，并具有对环境变化的反应能力(由生物本身的"需要"而导致变异)，他把"器官用进废退"和"获得性状遗传"(生物在后天获得的进步性状可遗传给后代)这两个已有的观点联系起来，用于解释生物进化的机理。拉马克曾以长颈鹿的进化为例，说明他的"用进废退"观点。长颈鹿的祖先颈部并不长，由于干旱等原因，在低处已找不到食物，迫使它伸长脖颈去吃高处的树叶，久而久之，它的颈部就变长了。一代又一

代，遗传下去，它的脖子越来越长，终于进化为现在的长颈鹿。

拉马克的学说是进化论的第一次重大突破，他提出了由自然产生的最简单生物发展到最复杂生物（包括人类）这样一种真正的进化思想，并认识到环境与生物习性在进化中的作用，为达尔文的科学进化论的诞生奠定了基础，他的《动物学哲学》和达尔文的《物种起源》被称为现代进化论思想的两大源泉。

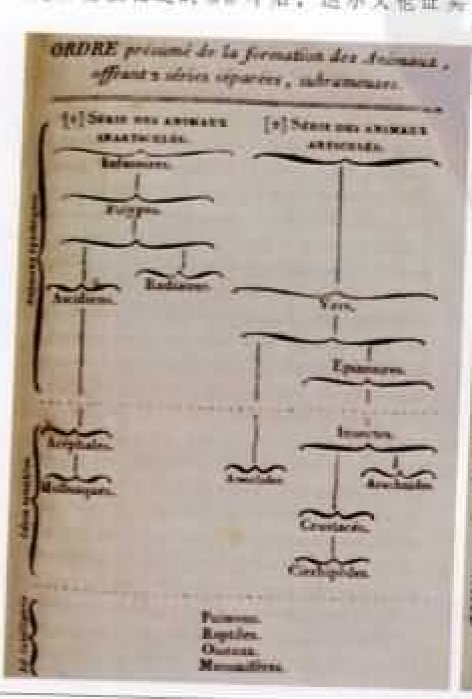
拉马克的进化论是法国进化思想发展的高峰，然而他的思想并没被人广泛地接受，甚至遭到了谩骂和攻击。这除了拉马克拿不出更多的事实证明他的学说外，还因为他遇到了一个强有力的反对者——居维叶。

居维叶（1769—1832年），法国动物学家，灾变学说的代表人物。居维叶经过了大革命、执政府、帝政和王政时期，他一生中的大部分时间，传奇般地同时兼有科学家、社会活动家、政治家等多重身份。他多次出任政府的大臣、部长等职位，同时也在科学上做出了惊人的成就。他留下的遗产，主要是那些堪称经典的比较解剖学、古生物学、动物分类学和科学组织各方面的著作。居维叶著述之繁多，收集材料之广泛，为世人所罕见，其影响遍及西方世界，被当时的人们誉为“第二个亚里士多德”。

18世纪晚期到19世纪初，从各时代地层中发现了大量的各种形态的生物化石，这些化石与现代生物既相似又不同，表明地球历史上生存过许多现今不再存在的物种。圣经不能解释这些物种绝灭的事实，为了解释古生物学的发现而又不违背圣经，于是

拉马克的发现

左图为拉马克在1815年出版的《无脊椎动物志》一书中的动物分类图。1820年，他又在《人类实际知识的分析系统》中对此图作了改动和补充，并成为后来大多数演化学说者使用的树形结构。右图描绘的是贝螺类化石，在拉马克发现蔓足亚纲和甲壳类动物很相近的30年后，达尔文也证实了这一点。





便出现了灾变论。根据灾变论的观点，地球上的绝大多数变化是突然、迅速和灾难性地发生的。居维叶认为，在整个地质发展的过程中，地球经常发生各种突如其来的灾害性变化，如海洋干涸成陆地，陆地又隆起山脉，反过来陆地也可以下沉为海洋，还有火山爆发、洪水泛滥、气候急剧变化等。当洪水泛滥之时，许多生物遭到灭顶之灾。每经过一次巨大的灾害性变化，就会使几乎所有的生物灭绝。这些灭绝的生物沉积在相应的地层，变成化石而被保存下来。这时，造物主又重新创造出新的物种，使地球重新恢复生机。但新物种同旧物种又有差别。如此循环往复，就构成了各个地层的情况。

尽管灾变说在法国学术界取得了统治的地位，但居维叶的理论受到一些生物学家，特别是主张进化学说的拉马克和圣提雷尔的批评。1830年，圣提雷尔同居维叶在法国科学院的会议上展开了激烈的辩论，双方的辩论持续了6周时间，

进化论的新见解

从19世纪60年代开始，《圣经》学者们就开始鼓励人们把《创世纪》中的叙述仅看做是宗教神话，而非真正的历史。他们开始意识到，上帝不能在6天内创造世界及所有生命，生命的诞生应该还有另一个可能。而进化论的产生，则永久地打破了人类起源的传统信仰和物种不变学说。这一学说将人类当做一种动物平等看待，并从生物的产生和进化中剥离了上帝的神力。图中的漫画正是对进化论这一生物观的生动描绘。



By Annie Keary.

人间乐园　琼·布鲁热尔　油画

《圣经》旧约全书《创世纪》说，上帝在第六天和最后一天，按照自己的形象造出了人，还造出了牲畜。随后，上帝把人安置在伊甸园，并让他管理和看守园子。这样的观点，在19世纪的动植物学家看来，是与现实完全相悖的。





19世纪的科学思想

早在达尔文之前，科学界就已知道化石乃是生物体的遗迹。而且，许多从前的物种现在已经不存在、灭绝了，也就是说，生物界的组成并不是从古到今一成不变的。许多种类在化石记录中显示了随着地理时间的推移而逐渐发生变化的趋势，有时在两个类群之间还可以发现处于过渡形态的化石。各个主要生物类群在化石记录中并不是同时出现的，而是有先有后，很有顺序，而且这个顺序与现存生物的顺序相符。图中，19世纪的人们发现了地底埋藏的巨大生物，也就是恐龙化石，这为进化论和生物起源说又提供了可靠的依据。

法国动物学家乔治·居维叶

法国动物学家居维叶，是比较解剖学和古生物学的奠基人。他提出了“器官相关法则”，认为动物的身体是一个统一的整体，身体各部分结构都有相应的联系。如牛羊等反刍动物既有磨碎粗糙植物纤维的牙齿，就有相应的嚼肌、上下颌骨和关节，相应的消化道以及相应的适于抵御和逃避敌害的角和肢体构造。这一相关法则的运用，大大促进了当时的动物学研究，使当时独立的研究方案形成一个系统的整体。



朱鹭的骨骼

自17世纪下半叶，自然科学家就已经了解化石代表着死去的植物和动物，其中一些种类和现存的还很不相同。将化石问题引入物种多样性争论的人，就是法国动物学家居维叶。他从研究动物化石和骨骼的研究中了解到，物质自身都会向着完美的方向发展，并努力地适应周围的环境。居维叶不是第一个收集化石的人，但他是第一个试图复原完整化石，如树懒和猛犸的人。图中的朱鹭骨骼就是居维叶收集组装而成的。



如此激烈且时间如此之长的辩论在科学史上也是少见的。这场辩论在法国乃至欧洲都引起了人们的关注，但由于宗教界的支持和圣提雷尔的理论不尽充分，最后居维叶获得胜利。在辩论会上，居维叶淋漓尽致地表示了他的学术观点，强烈反对拉马克和圣提雷尔的理论，顽固坚持灾变论，由此获得了“生物学的独裁者”的称号。

此外，灾变论还在地质学理论上具有一定的地位，因为灾变论也可用于解释地质的变迁。然而，就在灾变论在生物界取得胜利的时候，英国地质学家莱尔（1797—1875年）受拉马克的生物进化论的影响主张“渐变论”，认为地表是变化的，它们逐渐剥落，形成泥沙、







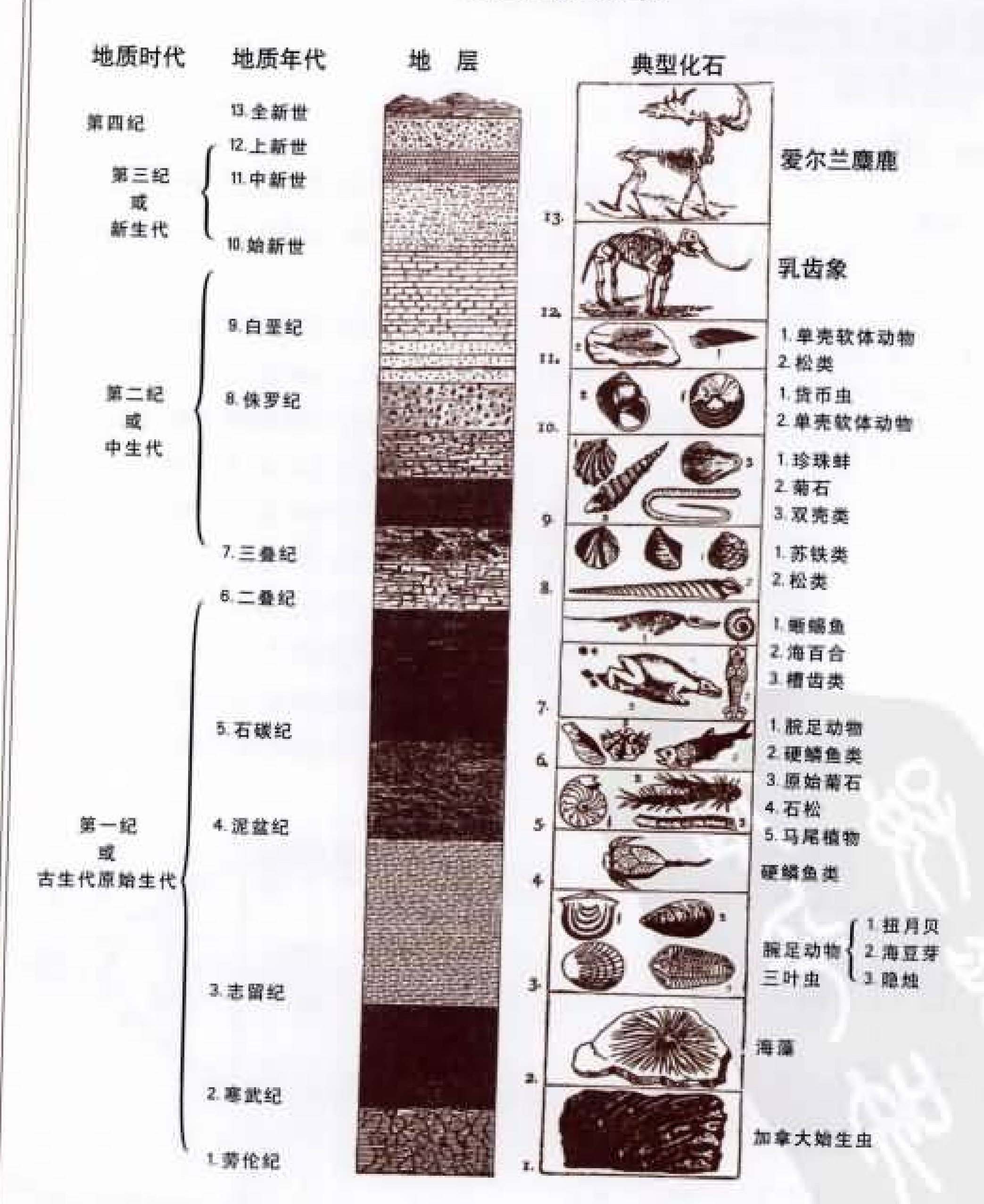
《地质学原理》书影

查尔斯·莱尔的《地质学原理》于1832年出版，而达尔文则是在蒙特维迪亚停留时看到的。他看后说道，地质学的进步极大地归功于莱尔，他的功绩比任何一位地质学家都要伟大。书中的观点使他相信，莱尔的思想观点比他所知道的其他著作要高明无数倍。此为《地质学原理》一书卷首插页和扉页。

反对进化论的声音

在19世纪达尔文提出进化论以来，一直不断地出现反对其观点的人。其中的威廉·汤普生和焦耳就曾合作研究气体冷却，是热力学理论的主要代表。他们通过热力学的研究成果来驳斥莱尔和达尔文的观点，认为地球的年龄不足以引起进化演变。图为热力研究过程中两位科学家所作的地层结构和热力分析图。

石子，被流水带入海中层层积累起来。1830年，莱尔在《地质学原理》中明确提出了地质渐变论的思想。他认为地层的形成和变异是不断发生的，地球表面的一切变化是缓慢的、渐进的，并以自然界自身的原因说明地球表层的运动变化。这种观点冲破了地质学领域中地球永恒不变的观念，第一次把理性带入地质学之中。尔后，渐变论为人们广泛接受，成为地质学和生物学领域中占统治地位的思想。19世纪下半叶，由于查理·达尔文（1809—1882年）进化学说的确立，灾变论才逐渐退出科学领域。



岩石层的各种化石

在英国，与居维叶同时期的威廉·史密斯在其著作《通过化石组合识别地层》中，对地层学原理作了明确的描述。他分析说，某一类型的化石总是出现在一定的岩石层中，因而化石种类与地层是同时代的。这一观点后来被称为"埋葬顺序"，并成为古生物学的基本原则之一。图中是该书中的一幅插图，介绍的就是不同地层与生物化石之间的关系。

生物进化论的创立者——达尔文

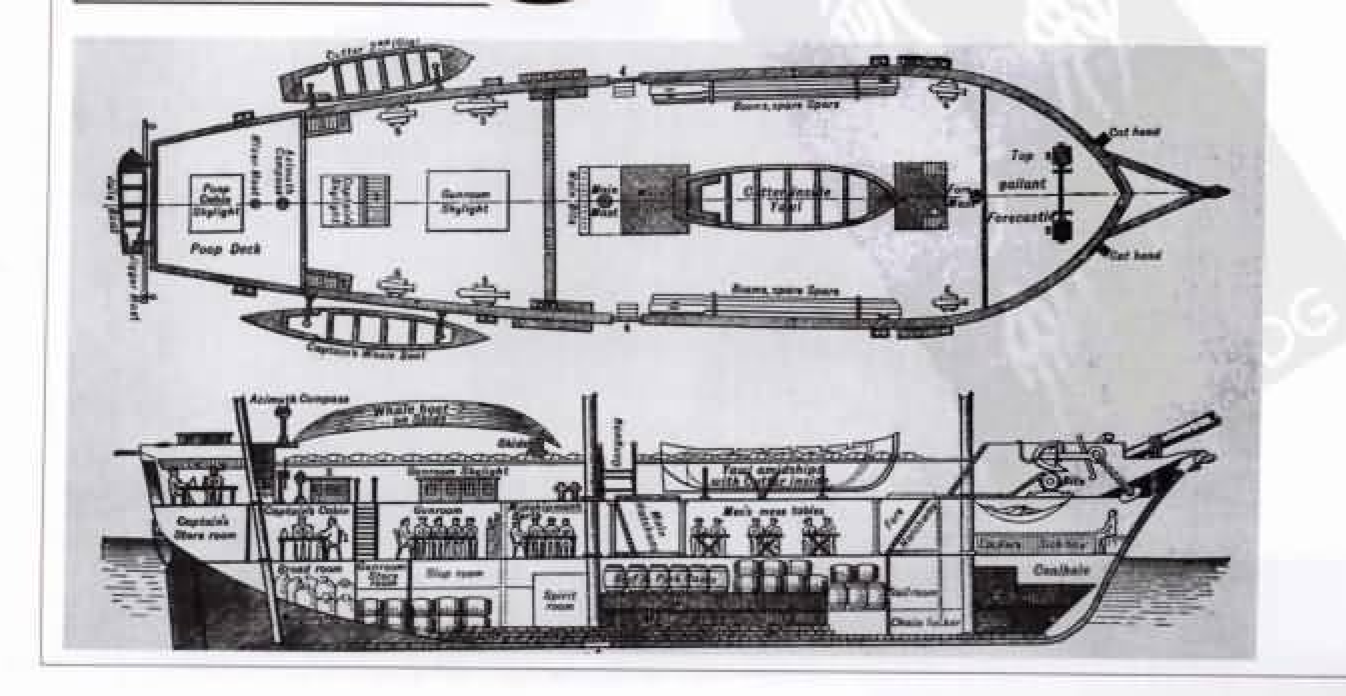
Episode Ⅲ

拉塞尔·华莱士

跟达尔文一样，华莱士也观察到生物的地理分布特点，并思考了生物进化的问题。出身贫寒，又极其反对基督教的华莱士，没有达尔文作为上层社会人士的种种顾虑，因此用三个晚上就写就了一篇论证自然选择的论文，并寄给达尔文征求意见。最后，达尔文把自己的手稿压缩成一篇论文，和华莱士的论文同时发表在1859年林奈学会的学报上，但这两篇论文并没有引起多大的反响。随后，达尔文又发表了《物种起源》，这才掀起了轩然大波，并征服了科学界。

酝酿了近一个世纪的进化思想，终于在达尔文的手中形成了宏大而有说服力的体系，从此生物进化理论正式确立。

自然选择生物进化论的创立者查理·达尔文出生在英国一个医生世家，16岁进入爱丁堡大学就读医学，但是他感到医学和解剖学都是枯燥无味的学科，不久便转入剑桥大学改学神学。在剑桥，他结识了当时著名的植物学家亨斯洛和著名地质学家塞奇威克，并接受了植物学和地质学研究的科学训练。1831年夏，在亨斯洛的推荐下，达尔文以一名不拿任何报酬的博物学家身份随英国海军探测船“贝格尔”号参加环球考察，这是西方科学



史上最有价值的海洋航行之一。

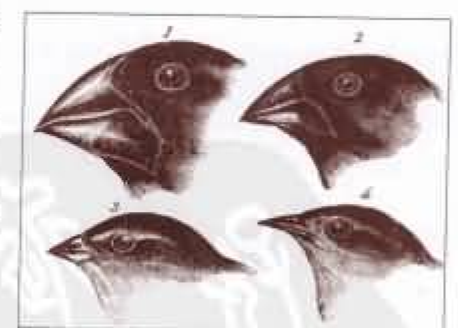
1831年，达尔文乘“贝格尔”号起航。在随后五年的历程中，“贝格尔”号以从容不迫的速度环绕南美海岸，考察荒无人烟的加拉帕戈斯群岛（即科隆群岛），访问太平洋、印度洋和南大西洋的一些其他岛屿。在这次漫长的航程中，达尔文目睹许多自然奇迹，发现了大量化石，观察过无数种植物和动物，而且他对所观察到的一切都做了详细的笔记，这些笔记几乎为他后来的全部工作打下了基础，他从中得出了许多主要的结论，找出了能使自己的学说被普遍接受所需要的丰富证据。

1836年，达尔文返回故乡。在随后的二十多年间，他发表了一系列的论著，使自己享有英国主要生物学家之一的盛誉。早在1837年，达尔文就确信动物和植物种类并不是一成不变，而是在地质史的过程中进化。但是当时他并不知道这种进化的原因是什么。1838年，托马斯·马尔萨斯的《人口论》对他建立起通过生存竞争而进行自然选择的观念给予极其重要的启发。在系统阐述了自然选择原理之后，达尔文再次长时间来为他的假说认真地收集证据和充实论证。

1842年，达尔文写出了其学说的纲要。1858年7月，

适者生存学说

19世纪30年代，达尔文在考察加拉帕戈斯群岛时，仔细观察了13种雀科鸣鸟。它们的主要区别在于鸟嘴的形状和大小的不同，且每种鸟都拥有自己的栖息岛屿。由于其主要食物的不同，导致它们嘴的形状不同。1838年，在马尔萨斯所著《人口论》一书的启发下，达尔文想到了雀科鸣鸟。他假定第一批聚居在岛上的鸣鸟曾大量繁殖，直到岛上的种子供不应求，这使许多鸟因饥饿而死去。而另外一些鸟由于变异使嘴的形状在自然演变中发生了变化而适应了其他食物，如昆虫，于是这类鸟的大量繁殖又会导致另一次食物供不应求。不断的变异和淘汰，使得当地的鸟类出现各种类型，这便是适者生存说。



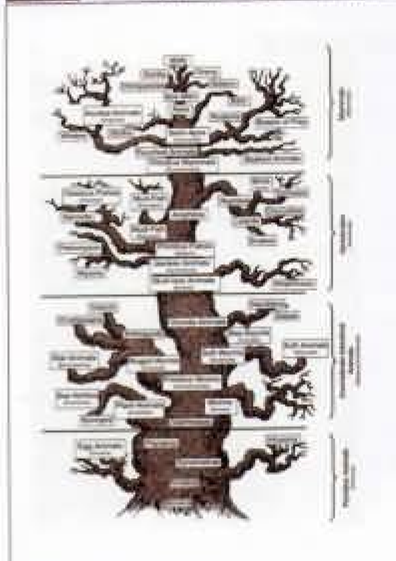


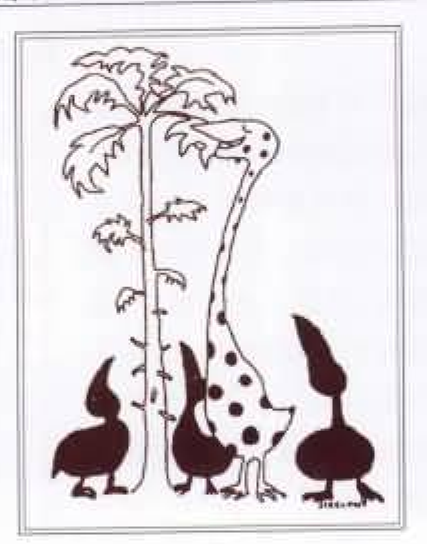
大自然的欲望

物竞天择是自然界的宗旨，在优胜劣汰中，唯有更好更强更适应于发展的动植物才会生存下来。达尔文在环游世界之后，发现了这一真理。物竞天择就是为了整个大自然的和谐共存。图为一幅和谐的人类、动物、植物共同并存的画面。

“贝格尔”号设计图

当达尔文踏上“贝格尔”号时，他还是个言必称《圣经》的正统基督教徒，其虔诚常常被海员们取笑。但当他返回英格兰时，《旧约》在他看来不过是一部“很显然是虚假的世界史”，其可靠性并不比印度教的圣书高。他完全抛弃了基督教信仰，并逐渐成为不相信上帝存在的怀疑论者或理性主义者。1837年，在“贝格尔”号之行结束一年后，达尔文就开始秘密地研究进化论。图为达尔文搭乘的“贝格尔”号船体的结构图。







人类学系谱树

自1859年达尔文的《物种起源》出版以后，由于其极大的影响力而被译成55种文字，给全世界带去了全新的生命科学观念。在德国，恩斯特·海克尔将初步的"达尔文主义"应用到政治和社会领域，促进了德国社会达尔文主义的产生。图为海克尔的人类学系谱树（《人类发展史》1874年）。

自然选择

这是一幅展现自然选择现象的作品。它让人联想到，当土地干旱，只剩下树顶上的绿叶的时候，就会产生有益变异的良好结果。如长颈鹿的变异就是如此，经过漫长岁月的积累而产生适应性的进化。

达尔文教授　霍金斯　插图画　英国　1880年

达尔文进化论发表以后，在当时学术界引起很大的骚动。反对派牛津主教说，没有人愿意将自己的祖先归结到猿猴身上，支持派赫胥黎则反讥他说，羞耻的不是有猿猴一样的祖先，而是像你这样傲慢的态度去面对自己的祖先。图中为反映这一辩论的插画，画中达尔文被还原成了猴子的样子。

正在补充和修改著作的达尔文收到了艾尔弗雷德·拉塞尔·华莱士送来的一份略述进化论的手稿。在每个要点上，华莱士的学说都与达尔文相同！华莱士完全独自地提出了自己的学说，他把手稿送给达尔文，目的是想在发表前征得一位有名望的科学家的意见和评论。于是，华莱士的论文和达尔文的纲要于翌月作为一份共同的论文递交给了一个科学团体。

出乎意料，这份论文的递交并未引起高度的重视。但是达尔文翌年发表的论著《物种起源》却引起了一场强烈的反响。事实上可能没有哪一部科学论著像《论借助自然选择（即在生存斗争中保存优良族）的方法的物种起源》（简称《物种起源》）那样引起科学界内外广泛而热烈的争论。这种争论在1871年仍在激烈进行，当年达尔文发表了《人类的祖先和性选择》，该书提出了人类是由像猿一样的动物演变而来的思想，给正处在白热化的争论泼上了一层油。

达尔文没有参加有关其学说的公开辩论，除健康原因外，还因为进化论的支持者们拥有一位达尔文学说得力的申辩人和坚决的捍卫者——托马斯·H·赫胥黎。1882年在达尔文

安息时，绝大多数科学家都承认他的学说基本上是正确的。

达尔文并不是物种进化学说的创始人，但他的伟大贡献就在于他不仅能提出进化的可能方式——自然选择，而且也能提出支持其假说的令人信服的大量证据。

达尔文对人类思想的影响是巨大的。从纯科学的角度来看，达尔文使整个生物学科发生了革命。自然选择确实是一项非常广泛的原理，人们试图把它应用到许多别的领域中去，如人类学、社会学、政治学和经济学。

也许甚至比达尔文学说具有的科学或社会学意义更为重要的是其对宗教思想的影响。在达尔文生活的时代及其以后许多年间，很多虔诚的基督教徒认为达尔文的学说会逐渐使宗教信仰遭致毁灭，他们的担心也许不无道理，虽然许多其他因素对宗教感情的总体下降也起了一定的作用。

甚至从非宗教的观念来看，达尔文学说也使人们认识世界的方法发生了巨大的变化。人类作为一个整体，再不像过去自认为那样在事物的自然体系中占据中心地位。我们现在不得不把自己看做是许多物种中的一个，也将承认自己总有一天会被取而代之。



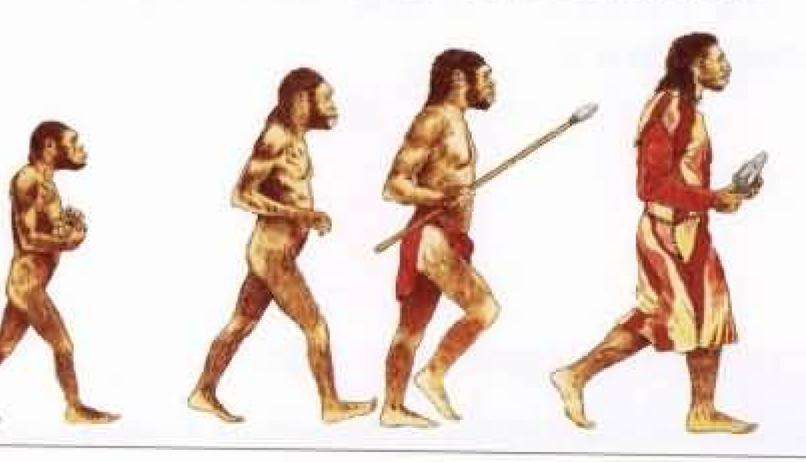
《物种起源》书影

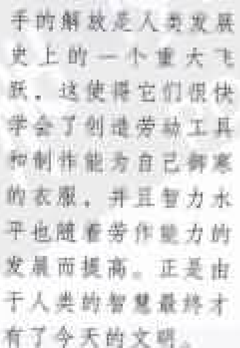
1842年，达尔文第一次写出《物种起源》的简要提纲。1859年11月，达尔文经过20多年研究写成的科学巨著《物种起源》终于出版。在这部书里，他旗帜鲜明地提出了“进化论”的思想，说明物种是在不断地变化之中，是由低级到高级、由简单到复杂的演变过程。他第一次把生物学建立在完全科学的基础上，以全新的生物进化思想，推翻了“神创论”和物种不变的理论。图为该书书影。



“贝格尔”号上的《考察日记》

达尔文所搭乘的“贝格尔”号是海军一艘三桅方帆的考察船，并配有10门炮，长30米，最宽处达8米，船板上能载74人。达尔文在这一旅途中，把发生的事件和观察到的内容一一记录在本子里，日后就成为了著名的《考察日记》的珍贵素材。





人类进化图

人类自从开始能直立行走以后，生活状况开始迅速好转。双手的解放是人类发展史上的一个重大飞跃，这使得它们很快学会了创造劳动工具和制作能为自己御寒的衣服，并且智力水平也随着劳作能力的发展而提高。正是由于人类的智慧最终才有了今天的文明。






多彩的生物界

进化论表明，世界上一切生物都由共同的祖先演化而来，随着自然环境的变化和优胜劣汰的生存法则，才形成今天多姿多彩的生物界。山中斑马身上的条纹与非洲斑马有所区别，它的条纹有所变化，达尔文认为这属于遗传现象；飞蛾在展翅备战时，其背部会呈现一种特殊图案；短角牛则是选择不同品种在严密监控下培育成的，它证明了物种的改良和进化是可行和持续的。这些例子都说明在许多自然条件和客观外界条件的作用下，生物界会更加多姿多彩。



生物的进化

通常指生物界的进化理论，亦称"演化论"，旧称"天演论"。进化论一词最初为法国博物学家拉马克（1744—1829年）提出；英国博物学家达尔文的《物种起源》一书奠定了进化论的科学基础。达尔文认为生物进化的主导力量是自然选择。现代生物科学的发展，对生命起源、物种分化和形成等进化的理论研究有了进一步发展，认为生物最初从非生物进化而来，现代生存的各种生物，有共同的祖先，在进化过程中，通过变异、遗传和自然选择，生物从低级到高级、从简单到复杂，种类由少到多。

进化论对人类起源的总体解释所获得的成功，大大加强了人们对科学有能力回答一切物质问题的信念。达尔文的术语"生存竞争"和"适者生存"已进入了人们的语汇。

显而易见，即使没有达尔文，他的学说也会有人提出来，事实上华莱士的成果，也许与其他类似情况相比，最能说明这个问题。然而却是达尔文的著作使生物学和人类学发生了革命，我们对人类在世界位置的看法亦因此而改变。

新达尔文主义——从细胞层次揭示进化机制

Episode Ⅳ

1866年，奥地利生物学家孟德尔（1822—1884年）提出了细胞遗传的分离律和自由组合律两大规律，使生物学有可能从细胞的水平上去揭示生物进化的规律。新达尔文主义就是在这种情况下形成的。

种质论又叫生殖质连续说，由德国生物学家魏斯曼在1885年发表的《作为遗传理论的基础种质的连续性》论文中首次提出，认为生物细胞有体细胞和生殖细胞之分；生殖细胞就是种质，种质具有连续性，生物就是以种质的连续性保持它的世代相传；自由选择的机制在生物个体、器官和种质间都有存在，对生物进化而言，只有种质间的选择才是最基本的；对种质变异的选择是生物进化的重要因素。

格雷戈尔·孟德尔

孟德尔曾研究了几乎上万种植物的繁殖结果，他选择了豌豆，并选了其茎长、花、豆荚、种子和子叶作为观察对象。1865年春，在自然历史学会的会议上，孟德尔在讲演中报告了关于控制植物繁殖的一个历时8年的研究结果。这一讲演和其后的文章并未在当时引起关注。但在30年后，人们重新发现了其著作的价值，并认为孟德尔为现代遗传学奠定了基础。

孟德尔的豌豆试验

在孟德尔的试验中，他把纯种的豌豆进行杂交，所有的杂交植株都反映出高的显性性状。但把这些杂种再次杂交后，后代中的四分之一遗传了两个隐性基因，变成了矮株。由此，证明了孟德尔的遗传概念，即子一代的遗传性状来自于亲代父本和母本，然后再把性状传给子二代，而不是在子代那里混合起来。

遗传作用中的性别遗传

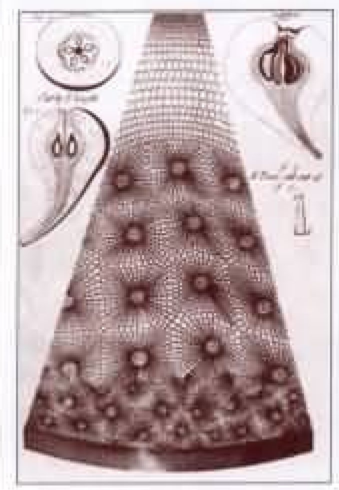
性别遗传是遗传作用的简单例证。在生物的雌性体内，有两条X染色体，而雄性则有一条X染色体和一条Y染色体。每个亲代把自己的一条染色体传与后代时，后代继承的不是XX就是YX，也就是说，后代的性别不是雄性就是雌性的。

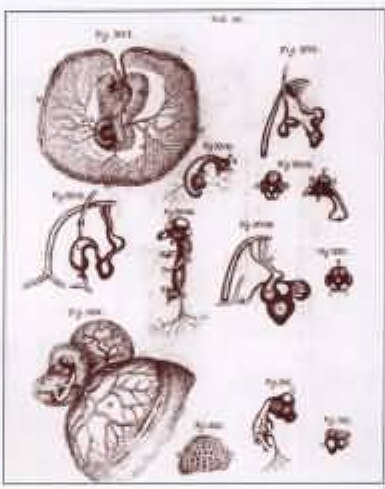
MENDEL'S PEA PLANTS

把纯种的豌豆杂交，所有的杂交植株都反映出高的显性性状，但把这些杂种再次杂交后，后代中的四分之一遗传了两个隐性基因，变成了矮株。











19 世纪的细胞学

1839年，德国动物学家施旺出版了《动植物的结构和生长一致性的显微研究》一书，系统地阐述了细胞学说。一年前，同时期的另一位生物学家就已提出植物方面的细胞学说，而施旺将这一观点扩展到动物，并加以明确阐述。施旺断言，所有生物均由细胞或细胞产物构成，每个细胞的生命活动，均从属于整个生物的生命活动。细胞学说提出后不久，人们便广泛接受。图中是施旺在19世纪40年代所画的细胞图。

变异的果蝇

正常果蝇在胚胎发育阶段时，它的一端会分化为头部，另一端形成腹部。可是"双胸"基因突变的果蝇胚胎两端都分化为胸部，并且会多出一对翅膀。按提佛里斯的理论来讲，这种突变是不受环境影响的，具有较大偶然性，随着现代科学发展，科学家已证明基因突变可能与外界环境变化有关。

突变论由荷兰植物学家提佛里斯于1901年提出。他通过对植物变异的长期考察，认为新的生物种类是通过突然的变异形成的。这种变异就是突变，与环境影响没有联系。每一种物种都有相对的静止期和突变期，在突变期中形成了新的种类。环境的变化在生物进化和物种形成中的作用微不足道，因此自然选择对物种形成作用也是微小的。

提佛里斯认为，突变的机制是染色体结构和数量的变化，他把染色体突变作为生物进化的一个重要因素加以提出。他还认为突变不受环境影响，它的发生具有较大的偶然性。

纯系说则由丹麦学者约翰森于1909年提出。他认为基因型的变异是遗传性的变异，表现型的变异不可遗传；纯系个体间的差异是表现型的，不能遗传，在纯系内选择对物种进化无意义；在混杂系中选择有效。

新达尔文主义从生命的细胞层次揭示了生物进化的机制，同时提出了骤变进化的概念，是对达尔文主义的进化论的重要补充。



能量守恒——热质量说与热之唯动说

Episode Ⅴ

戴 维

戴维，19世纪初英国最引人注目的化学家。他用实验证明热是一种运动形式。他发现一氧化二氮气体有麻醉作用，他第一个将电用于化学研究，发现了7种元素。特别是他发掘了后来成为著名电学家的法拉第，从而被认为是其在科学上的最大贡献。

“热质说”最初像“燃素说”一样，可以解释一些热现象。例如：两个不同温度的物体接触时，温度会趋于一致。它解释这是由于热质从高温物体流向低温物体的结果。物体由固态变为液态和由液态变为气态，所需要的潜热也是由于吸收了热质的缘故。这样，似乎热的本质可以用“热质说”做出圆满的解释。所以，这种学说为当时一些著名的科学家们所接受，成为18世纪热力学中占统治地位的理论。

任何一种学说和理论，都必须接受实践的检验。1797年，德国技师伦福德（1753—1814年）发现，当用钻头钻炮筒时，炮筒和铁屑温度同时升高，钻头越钝，热量越大。他用一只钝得无法切削的钻头连续钻了20小时45分钟，竟使18磅水达到沸点。这突然增多的热质从何而来？“热质说”无法解释。1798至1799年间，英国化学家戴维（1778—1829年）用两块冰在真空中摩擦，并使周围的温度比冰还低，结果发现

钻 头

针对“热质说”不能解释摩擦生热的困难，许多科学家进行了各种摩擦生热的实验，而最为著名的是伦福德利用钻头钻炮筒的实验。





酸性和碱性

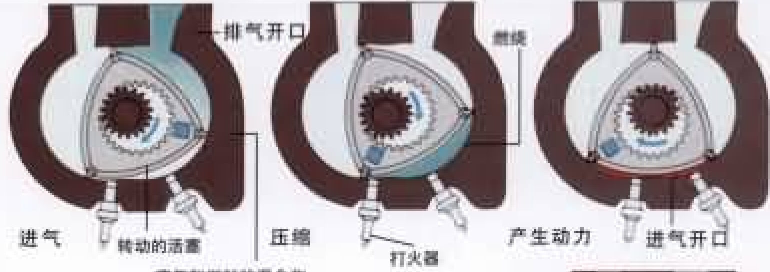
戴维一生最大的贡献是在电化学领域。他研究电的化学效应，亲自做水的电解实验。他在发表的《关于电的某些化学动力》一文中，论述了电解和化学亲和力间的关系，他认为氧和氢之间、酸和碱之间，以及金属和氧之间的化学亲和力实质上是一种电力的吸引，它能使氢和氧结合成水，而"电能"又可以将水分解成氢气和氧气。

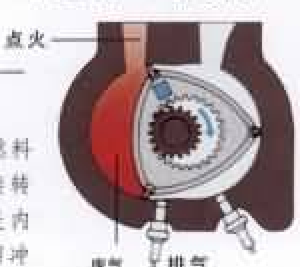
戴维发明的煤矿安全灯

产业革命时主要能源是煤，当时煤矿设备简陋，常发生瓦斯爆炸。戴维发明以细密的金属丝包覆的灯焰，以隔离易爆气体。他所发明的煤矿安全灯沿用到20世纪30年代（此后，被电池灯逐渐取代）。









汪克尔发动机的四冲程式

内燃机是一种动力机械，它是通过使燃料在机器内部燃烧，并将其放出的热能直接转换为动力的热力发动机。汪克尔发动机是内燃机的一种，跟大部分内燃机一样皆为四冲程式：吸入燃料及空气、压缩油气混合物、点火产生动力、将燃烧后的气体排出。图中为汪克尔发动机的四冲程式示意图。

冰都融化成水，其比热比冰还高。这些高于冰的热量又是从何而来的呢？对于这些现象，"热质说"臆造了许多理由，力图弥合这种理论的裂痕。

19世纪以来，"热之唯动说"渐渐地为更多的人们所注意，有的人从实验上来加以证明。1827年，苏格兰植物学家布朗（1773—1858年）在显微镜下看见了水中极微小质点的不规则运动，从而证实了物质分子的不规则运动。英国的化学家和物理学家克鲁克斯（1832—1919年）曾做了一个著名的实验，他把风车叶轮的一面涂上黑色，装在高度真空管中的旋转轴上，放在日光中，发现它总是朝着光亮一面的方向旋转。克鲁克斯对此作出解释说，这是由于黑的一面吸收了较多的热量，使分子受热运动，并以较高的速度跳撞叶轮，从而将黑的一面向后面推动，这进一步有力地证明了热的本质就是物质分子无规则运动的结论。

"热之唯动说"较好地解释了"热质说"无法解释的现象，如摩擦生热等，把人们对于热的本质的认识大大地深化了一步。但是，问题并未就此解决。人们看到了热的

微粒的运动

布朗所观察到的微粒的不规则运动，是它们受到来自各个方向的液体或气体分子的不平衡撞击所引起的，也间接显示了物质分子处于永恒的热运动之中。图中分别表示固体中压得很紧的粒子与气体中不规则运动的粒子。



布朗运动试验

分别向一杯冷水和一杯热水中加入少量的质量相同的高锰酸钾粉末，可以发现高锰酸钾粉末在热水中扩散较快，不一会整杯水很快变成紫红色。实验证明了分子的运动是永远不会停止的，且运动速度与温度有关。



本质是分子的机械运动，并把它作为唯一的特征，忽视了热辐射，仅用统计方法把热学中的宏观物理量归结为与之相对应的大量分子的无规则运动的统计平均值；把描写宏观物体运动的力学规律扩展到微观粒子运动中，使分子运动论又碰到了无法解释的新问题。例如，热辐射现象，它的能量按波长分布，是随温度而变化的，分子运动论无法解释这种热辐射现象。这个问题的解决是由20世纪的量子力学家来完成的。



能量守恒——热力学的建立

Episode Ⅵ

卡 诺

卡诺，法国杰出的物理学家、军事工程师，热力学的创始人之一。当同代的很多科学家将目光局限在机械细节的改良研究上时，他独辟蹊径从理论高度上对热机的工作原理进行研究。他死后，人们在他的笔记本中发现有关于动力是一种能量，它不能产生和消失，但可以转化的记载，这就是能量守恒定律的最早描述。

第一个对热的本质真正进行科学研究的是法国物理学家、工程师——卡诺（1796—1832年）。

卡诺于1796年生于巴黎，其父是法国将军、政治活动家，在数学、物理方面有很高的造诣，卡诺自幼受父亲的熏陶，于1812年考入了法国巴黎理工学校。巴黎理工学校要求很严格，既重视基础理论的教学，又注意培养学生解决实际问题的能力，是19世纪法国高等教育和科学研究的中心。卡诺在这里打下了良好的基础。

1814年10月，年仅18岁的卡诺毕业，接着又到梅斯工兵学校深造。1816年，从工兵学校毕业的卡诺到军队中服役，任少尉。1820年，卡诺



在冰水混合物中，冰总是会融化，而且水温下降。形成更多的冰块或剩余的水的温度升高，这种情况是不会出现的。

能量守恒

能量守恒定律指出："自然界的一切物质都具有能量，能量既不能创造也不能消灭，而只能从一种形式转换成另一种形式，从一个物体传递到另一个物体，在能量转换和传递过程中能量的总量恒定不变"。如图中弓箭手射击时，能量发生了转换，但总能量未变。

热力学试验

将冰块放入热水中之后，整个体系产生一定次序的热量传递，热量从热水传向冰块，冰的温度升高，水的温度降低，最后形成温水。剩余水的温度升高或形成更多冰的情况是不会出现的。

离开部队回到巴黎。先后在巴黎大学、法兰西学院、矿业学院和巴黎国立工艺博物馆学习物理学、数学和政治经济学。

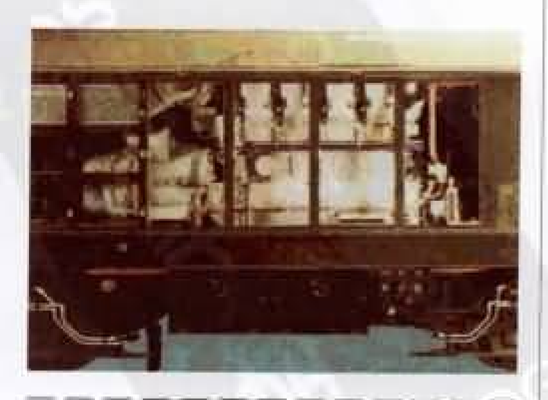
当时，法国的蒸汽机已增加到65台，这使卡诺有可能对蒸汽机进行深入的研究。卡诺发现，从外国进口的蒸汽机尤其是英国制造的蒸汽机在性能方面远远超过法国产的蒸汽机。在研究瓦特蒸汽机的过程中，卡诺最关心的是蒸汽机的热效率问题，即热能与机械能之间的转化问题。他发现，蒸汽机在将热能转化为机械能的过程中，除热能转化为机械能这一主要过程之外，还有许多辅助过程。而正是这些辅助过程阻碍了人们对能量转化进行深入研究。于是，卡诺决定采用一种抽象的数理分析方法，着重探讨热能与机械能的转化。运用这种科学方法，卡诺提出了一种理想热机理论，并以这种理想热机理论为基础，设想出一种理想热机。



能量的传递

图中保龄球顺着球道前滚，然后把瓶子撞倒的过程，同样也证明了能量从一个物体传递到另一个物体发生了转移，但能量在传递过程中，其总量是恒定不变的。

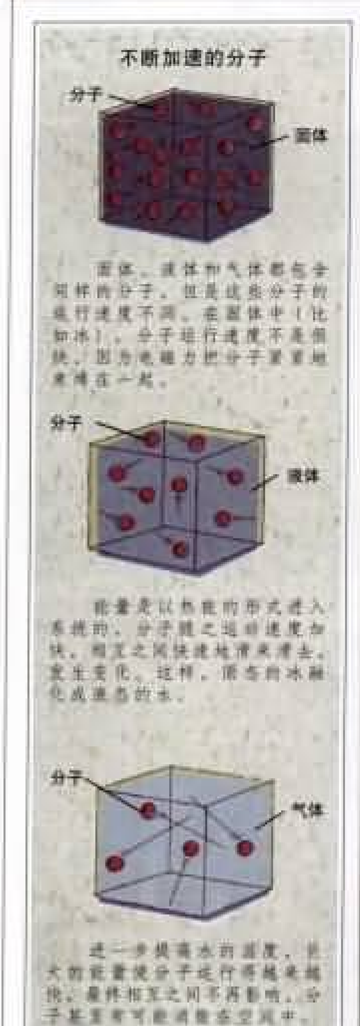
1824年，卡诺发表了《关于火的动力及产生这种动力的机器》一文，阐述了他的理想热机理论。在这篇论文中，卡诺明确指出，热机只能在具有温差的两个热源之间工作。当热从高温热源像瀑布那样流向低温热源时，热机才能做功。热机的效率与工作介质无关，而主要取决于两个热源之间的温差。卡诺的这些理论成果，实际上已包括了人们后来所总结出来的热力学第二定律：热只能在从高温热源转向低温热源的过程中做功。只是由于卡诺当时还相信“热质说”，因此对他所发现的这一定律作了错误的理论解释。

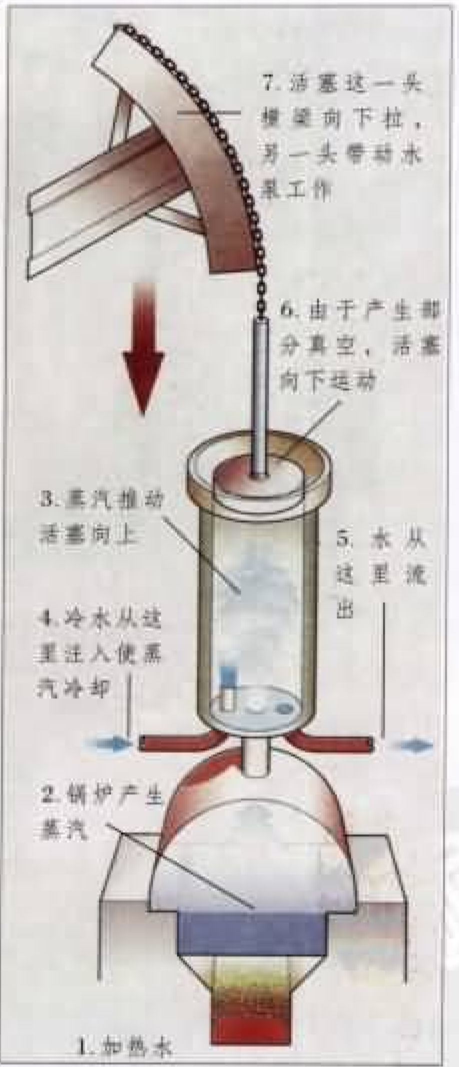


内燃机车

内燃机车是以内燃机作为原动力，通过传动装置驱动车轮的机车。根据机车所用内燃机的种类，可分为柴油机车和燃气轮机车。以柴油机为例，柴油机燃料的热能就转化为动力传输给传动装置，使机车得以运行。图为英国铁路20级电传动柴油机内燃机车。

卡诺还指出，最好的热机工作物质是在一定的温度范围内膨胀程度最大的物质。也就是说，作为热机工作物质，气体比固体和液体更有前途，具有更大的优点。他看到了气体做为热机工作物质的潜





能量守恒定律

图中展示了固、液、气体分子，在固定空间内，吸收热能之后的运动情况，三个空间内的分子，在吸收热量后，分子的运动速度都会加快，且温度越高，分子的运动速度越快。根据能量守恒定律，不同形式的能量可以相互转化，通过传热，分子的内能可以转化为动能。

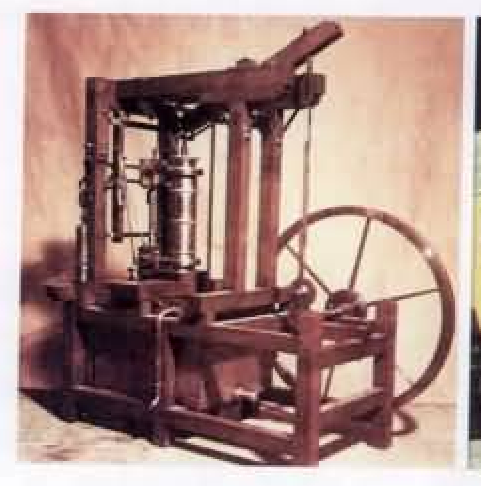
纽科门发动机细部

在纽科门设计的发动机中，水在锅炉中加热产生蒸汽。这些蒸汽进入装有活塞的汽缸，随着它们的膨胀，将活塞向上推动。然后通过汽缸中冷空气的注入，将蒸汽冷却，凝结成水，使汽缸内形成部分真空，在空气的压力下，活塞就会向下运动。

在优点，这就预示后来乃至今天普遍使用的内燃机的发展。

在初步提出热机理论之后，卡诺继续进行了一些理论探索工作。此后，他逐渐相信了热动说，这使他对热能与机械能之间的转化有了新的认识。1830年，卡诺在一篇论文草稿中已明确地采用了热动说。此后，他还在热动说的基础上，根据他对热能与机械能之间的转化所做的研究，最先提出了热功当量的概念。与此同时，他还初步对热功当量进行了测定。虽然他所测得的热功当量的数据并不精确，但这是人们对热功当量的最早的测定。正是在1830年所写的这篇论文草稿中，卡诺明确指出："热不是别的东西，而是动力（能量），或者可以说是改变了形态运动，它是一种运动。"又说："动力（能量）是自然界的一个不变量。准确地说，它既不能产生，也不能消灭。实际上它只改变它的形式，也就是说，它有时引起一种运动，有时则引起另一种运动，但决不会消灭。"卡诺的这些论述说明，已接近发现热力学第一定律，并在这以前实际上已发





瓦特改良后的蒸汽机

在卡诺时代，蒸汽机已获得广泛应用，但效率很低。由于科学家和工程师们对蒸汽机效率这一概念缺乏正确的理解，因而没有找到提高热机效率的根本途径。1824年卡诺提出了对热机设计具有普遍指导意义的卡诺定理，指出了提高热机效率的有效途径，揭示了热力学的不可逆性，被后人认为是热力学第二定律的先驱。

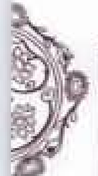


"太平洋联盟"号电传动内燃机车

早期的内燃机车如"太平洋联盟"号，它的制造费用高于蒸汽机，但它却有更高的效率和更为经济的运行费用。

现了热力学第二定律，并以这些发现为基础，提出了理想热机的热力循环理论以及一种高压缩型的自燃热机的设想，他正式奠定了热力学的理论基础。而他的热力学成就也就为能量守恒和转化定律的发现直接铺平了理论道路。

1832年6月，卡诺不幸得了猩红热，接着又患脑膜炎，最后染上了流行性霍乱。在这些严重疾病的袭击下，他于同年8月24日逝世，他的遗稿直到1878年才公开发表。



能量守恒及能量耗散定律

Episode Ⅶ

焦 耳

焦耳是英国物理学家。他最早的工作是对电学和磁学方面的研究，后转向对功热转化的实验研究。他是能量守恒和转化定律的确立人之一。

18世纪末和19世纪初，各种自然现象之间的联系相继被发现。伦福德和戴维的摩擦生热实验否定了热质说，把物体内能的变化与机械运动联系起来。1800年发明伏打电池之后不久，又发现了电流的热效应、磁效应和其他的一些电磁现象。这一时期，电流的化学效应也被发现，并被用来进行电镀。在生物学界，证明了动物维持体温和进行机械活动的能量跟它所摄取的食物的化学能有关，自然科学的这些成就，为建立能量守恒定律做了必要的准备。

能量守恒定律的最后确定，是19世纪中叶由迈尔（1814—1878年）、焦耳（1818—1889年）完成的。

罗伯特·迈尔生于德国的海尔布隆，其父是位药剂师。1838年，迈尔在蒂宾根大学获得学位，正式在汉堡开业行医。

风车发电

风车发电是利用风力的能量转化为机械能再转为电能，也是利用了能量守恒与转化定律。



1840年到1841年初，迈尔在一艘海轮上当了几个月的随船医生。这段船上的生活虽然不长，却开阔了迈尔的视野，激发了他的科学联想。更重要的是这段旅程成为了他在物理学上做出成就，从医学的途径得出能量守恒的结论的起点。

当海轮驶经热带海域时，很多船员患了肺炎，迈尔发现病人的静脉血比在欧洲时见到的病人的静脉血的颜色要红些。他在给生病的船员放血时，发现他们的静脉血不像生活在温带国家中的人的静脉血那样颜色暗淡，而是像动脉血那样新鲜。当地医生告诉他，这种现象在热带地区是到处可见的。他还听到海员们说，下雨时海水比较热。这些现象引起了迈尔的深思。在大学时，迈尔曾研究过拉瓦锡的氧化学说及其他一些新的化学理论。在拉瓦锡的氧化学说的启发下，他想到，食物中含有化学能，它像机械能一样可以转化为热；在热带高温情况下，机体只需要吸收食物中较少的热量，所以机体中食物的燃烧过程减弱了，因此静脉血中留下了较多的氧。另外，雨滴降落所获得的活力，也会产生出热来。迈

燃　烧

能量有多种形式，相互之间可进行不同程度的转换。化学能转化成热能是日常生活中最常见的形式。如燃烧，是可燃物与空气中的氧气发生的一种发光发热的剧烈氧化反应。例如在空气中燃烧蜡烛，在与氧气相阻隔的空间中就会熄灭。

氧乙炔火焰枪

这是氧乙炔火焰枪切割钢片的情形。这种火焰枪也可以用于焊接金属，并且不会引起金属的氧化。

燃烧的能量

迈尔是第一个把能量转化概念应用于生物学现象的人。他利用类比方法分析了人体肌肉活动，指出运动神经犹如轮船中的舵手，起着控制的作用；新陈代谢提供了能量，犹如轮船中煤的燃烧。可惜他的论点在当时并未得到科学界的重视。













流　星

流星是由于外空间的尘埃颗粒闯入地球大气，与大气摩擦，产生大量热，从而使尘埃颗粒气化，在该过程中会产生亮光和高温。

地球上能量的来源——太阳能

在《论有机体的运动与物质代谢关系》中，迈尔指出，太阳能是地球上能量的来源，并论证了有机界和无机界力（能）的统一性：植物吸收了太阳能，把它转化为化学能。动物摄取植物，通过氧化把化学能转化为热和机械能。而肌肉只是转化能量的工具，它本身在运动中并没有消耗。

尔认为，除了人体体热来自由食物转化而来的化学能之外，人体动力也来自同一能源。这样看来，热能、化学能、机械能都是等价的，而且是可以相互转化的。由此他指出，化学家一般所认为的基本规律是，物质是不可破坏的；我们应该把同样的基本定律应用到力上，力同物质一样，也是不可破坏的。

在工作之余，迈尔对自己在海轮上的发现继续进行研究。通过实验，他初步测算出了热功当量。虽然迈尔所测算出的热功当量的数据并不精确，但这却说明，他已初步发现了能量守恒和转化定律。

迈尔把他对能量定律的最初发现写成了一篇题为《论力的量和质的测定》的论文。

迈尔后来又写成《论无机界的力》一文，发表于《化学和药学年刊》上。在这篇文章中，迈尔从"无不生有，有不变无"和"原因等于结果"等哲学观念出发，表达了物理、化学过程中力的守恒的思想。

1845年，迈尔又发表了《与有机运动相联系的新陈代谢》，进一步发展了他的观点。在文章中，迈尔阐述了有关能量转换的相互关系。他指出，机械能的消耗可以产生热的、磁的、电的、化学的效应，他考虑到了电和生物学的过程。迈尔的新观点，已经超出了当时物理学界的水平。

在第二篇论文中，迈尔首先肯定，力的转化与守恒定律是支配宇宙的普遍规律，然后，他更具体地考察了几种不同形式的力。



爆 炸

当易燃的物质遇到火，开始在一个小空间中燃烧时，迅速膨胀的气体便会引起爆炸。

变质岩

变质岩是因温度和压力的变化，作用在地壳内部的岩石而形成的。如柔软的黏土矿物可变成贝岩和板岩。大型的地壳变动也能造成大规模的区域变质，而熔融火成岩（高温之岩浆在从液态冷却中结晶成多种矿物，矿物再紧密结合成火成岩）的侵入，可能会引起热变质作用。

第一种　运动的力，即“运动的活力”，实际上即动能。迈尔举出弹性碰撞作为例子，指出在弹性碰撞中，作为这种力量度的活力是守恒的。

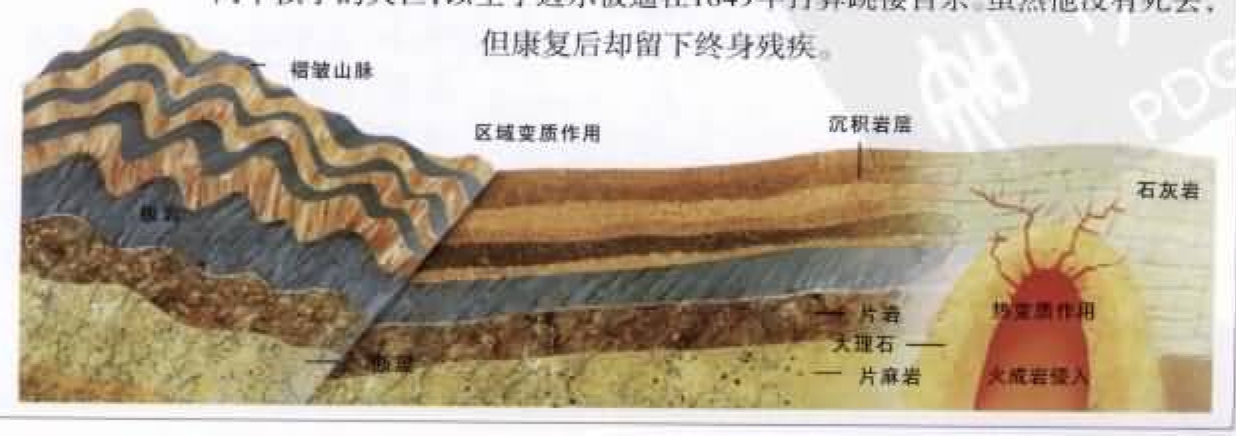
第二种　下落力，即重力势能。迈尔指出，“下落力的大小以重量和这个高度的乘积来量度”。

第三种　热力，“热力是能够转化为运动的力”，蒸汽机车的例子就是一个明证。迈尔曾进行了热功当量的计算。他的出发点是：当气体的温度发生确定的变化时，定压过程中吸收的热量大于定容过程中吸收的热量。

第四种　电力。通过起电盘的例子迈尔指出，这里发生了“机械效应向电的转化”。他还举出在永磁体上通过摩擦而使铁棒磁化的现象说明，磁也可以通过消耗机械效应而产生。

第五种　化学力，迈尔举出物体落至地面时“下落力”会转化为热，化学反应中也会产生热，化学状态的差异也是一种力。

在当时的物理学中，形而上学自然观还有很大影响，所以迈尔在研究能量守恒和转化的过程中以及在发表论文之后，受到了不少嘲弄，遭到了粗鲁的、侮辱性的中伤，加之他两个孩子的夭亡，以至于迈尔被逼在1849年打算跳楼自杀。虽然他没有死去，但康复后却留下终身残疾。





本生灯

本生灯是德国化学家本生于1850年发明的重要实验仪器，是实验室常用的中高温加热工具。其温度和火焰的强度可以用控制空气供应量来调节。

量热器的内部构造

量热器是一种测量热量等的仪器，也称"卡计"。它可用来测定热量、比热、潜热（熔解热、汽化热、升华热等）、化学反应热，以及火炉及酒精灯火焰的温度等。

热辐射

不依赖物质的接触，而由热源自身的温度作用向外发射能量，这种传热方式被称为"热辐射"。它能把热量以光的速度穿过真空，从一个物体传给另一个物体。太阳也是通过热辐射方式带给地球热量。

热传导

热传导是起因于物体内部分子微观运动的一种传热方式，也是固体中热传递的主要方式。如金属的导热性能较强，因此做饭的炊具多用金属制成。而木头的导热性能较差，常用于制作炊具的把手。





1851年秋，迈尔得了脑炎，后来他被送进疯人院，直到1862年才恢复科学活动，他的成就也逐渐为社会所承认。1871年，迈尔晚于焦耳一年获得了英国皇家学会的科普利奖章，以后他还获得蒂宾根大学的荣誉哲学博士、巴伐利亚和意大利都灵科学院院士的称号。

1878年3月20日，最先阐述能量守恒思想的人迈尔逝世于海尔布隆。

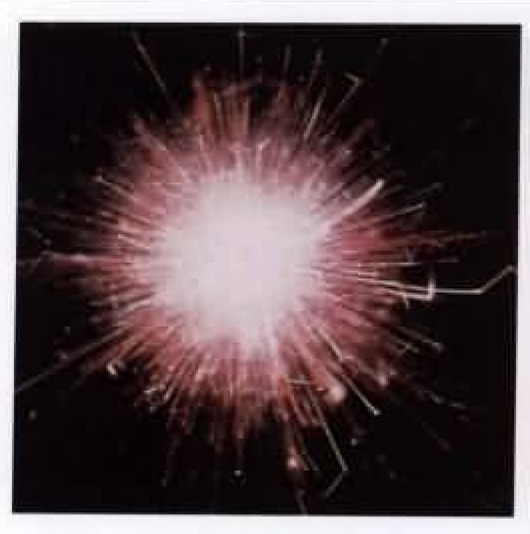
另一位对能量守恒的发现作出重大贡献的是英国物理学家焦耳。

焦耳从1840年到1878年将近40年的时间里，研究了电流的热效应，压缩空气的温度升高以及电、化学和机械作用之间的联系，做了400多次实验，用各种方法测定了热和功之间的当量关系，为能量守恒定律的发现奠定了坚实的实验基础。

在1847年，当焦耳宣布他的能量观点的时候，德国学者亥姆霍兹（1821—1894年）在柏林也宣读了同样课题的论文。在这篇论文里，他分析了化学能、机械能、电磁能、光能等不同形式的能的转化和守恒，并且把结果跟永动机不可能制造成功联系起来，他认为不可能无中生有地创









镁

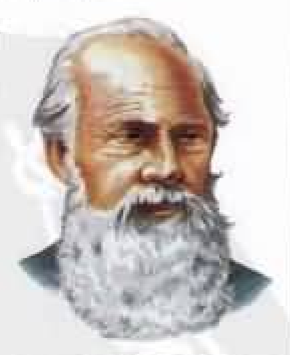
镁是一种具有化学活性、质轻、银白色的金属元素。当镁暴露在空气中时，表面会形成一层灰色氧化物，具有耐热的特性。此外，镁在空气中燃烧时会产生强烈的白光，如图中所示，因此镁被用于制造烟火和照明弹。

隔热层

当航天飞机进入大气层时，飞机的表面将暴露在高温中。此时，航天飞机表面的隔热层将其与热隔离。图中是覆盖有隔热层的航天飞机机头在火炉中测试其耐热能力。

造一个永久的推动力，机器只能转化能量，不能创造和消灭能量。亥姆霍兹在论文里对能量守恒定律作了一个清晰、全面且概括的论述，使这一定律为人们广泛接受。

19世纪中叶，还有一些人也致力于能量守恒的研究。他们从不同的角度出发，彼此独立地研究，却几乎同时发现了这一伟大的定律。因此，能量守恒定律的发现是科学发展的必然结果。此时，能量转化和守恒定律得到了科学界的普遍承认。这一原理指出：自然界的一切物质都具有能量，对应于不同的运动形式，能量也有不同的形式，如机械运动的动能和势能，热运动的内能，电磁运动的电磁能，化学运动的化学能等，他们分别以各种运动形式特定的状态参量来表示。当运动形式发生变化或运动量发生转移时，能量也从一种形式转化为另一种形式，从一个系统传递给另一个系统；在转化和传递中总能量始终不变。



开尔文勋爵

开尔文勋爵是一位积极且充满热情的科学家。他曾与焦耳共同研究热与功之间可能存在的相关性。

热力学第二定律发现的准备工作是由卡诺所完成的，他推开了热力学第二定律的大门，但囿于"热质学"的影响，他最终没能跨进去。在卡诺所奠定的基础上，热力学第二定律由开尔文和克劳修斯发现。

威廉·汤姆逊（即开尔文勋爵，1824—1907年），英国物理学家。早期信奉"热质学"，反对能量守恒，直到1851年才改变立场，提出热力学第二定律。

热力学第二定律的开尔文表述："从单一热源吸取热量使之完全变为有用的功而不产生其他影响是不可能的。"





开尔文提出能量耗散概念：在固体的热传导中消耗的热没有失去，这个热转化成物体粒子运动的能量，虽然这个热不能自动复原，它被转换、耗散，但没有消失。

开尔文认为热力学两个定律表明了能量的不灭性和耗散性，这两个定律是一致的。他提出能量耗散原理，指出了自然过程进行的方向性特征，进一步发展了能量概念，扩展并深化了对物质世界的认识。

对热力学第二定律进行系统研究的应当首推德国物理学家、热力学和气体分子运动理论的奠基者之一克劳修斯（1822—1888 年）。

克劳修斯生在一个多子女的教师家，曾对历史课发生兴趣，但还是决定在数学和物理方面发挥才能。1847 年他在哈雷大学获得主修数学和物理的哲学博士学位。

本来开尔文有可能立即从卡诺定理引出热力学第二定律，但是由于他没有摆脱"热质说"的羁绊，错过了首先发现热力学第二定律的机会。

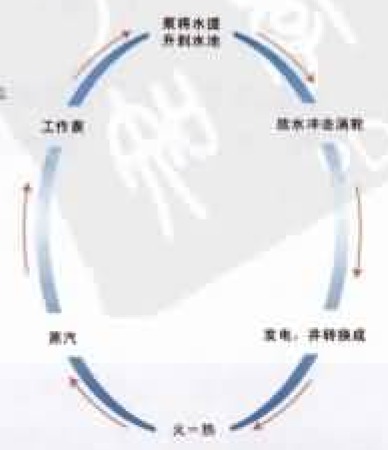
就在开尔文感到困惑之际，克劳修斯于1850 年在《物理学与化学年鉴》上率先发表了《论热的动力及能由此推出的关于热本性的定律》，对卡诺定理作了详尽的分析，他对热功之间的转化关系有明确的认识。他证明，在卡诺循环中，"有两种过程同时发生，一些热量用去了，另一些热量从热体转到冷体，这两部分热量与所产生的功有确定的关系。"

▲ 不同的温度

温度是分子平均功能的标志，它决定一个系统是否与其他系统处于热平衡的物理量。当温度较低时，分子、原子振动的速度很小，分子之间距离较大，此时物质为液态。随着温度不断升高，分子运动十分激烈，分子间的距离也变大，此时物质为气体。整个世界就是因为不同的分子、原子在不同的温度下变化而来的。图为一部分从绝对 0℃到太阳表面温度的图示。

▶ 能量定律

从克劳修斯的理论中，整个宇宙可以被视为一台按照物理定律发挥功能的机器。在这台机器中，所有能量的综合在反复的转换中保持为常数。任何形式的物理活动都可以转换成其他形式的活动，如热、功、化学反应、辐射、电。



他进一步论证："如果我们现在假设有两种物质，其中一种能够使另一种在转移一定量的热量中产生更多的功，其实是一回事，要产生一定量的功只需从A到B转移更少的热。那么，我们就可以交替应用这两种物质，用前一种物质通过上述过程来产生功，用另一种物质在相反的过程中消耗这些功。到过程的末尾，两个物体都回到它们的原始状态；而产生的功正好与耗去的功抵消。所以根据我们以前的理论，热量既不会增加，也不会减少。唯一的变化就是热的分布，由于从B到A要比从A到B转移更多的热，继续下去就会使全部的热从B转移到A。交替重复这两个过程就有可能不必消耗力或产生任何其他变化而随意把任意多的热量从冷体转移到热体，而这是与热的其他关系不符的，因为热总是表现出要使温差平衡的趋势，所以总是从更热的物体传到更冷的物体。"

就这样，克劳修斯正确地把卡诺定理改造成与热力学第一定律并列的热力学第二定律。

1854年，克劳修斯发表《热的机械论中第二个基本理论的另一形式》，在这篇论文中他更明确地阐明："热永远不能从冷的物体传向热的物体，如果没有与之联系的、同时发生的其他的变化的话，关于两个不同温度的物体间热交换的种种已知事实证明了这一点；因为热处处都显示企图使温度的差别均衡之趋势，所以只能沿相反的方向，即从热的物体传向冷的物体。因此，不必再做解释，这一原理的正确性也是不证自明的。"

盐田

当液体的温度升高，分子的运动速度加快，并从液体中脱离。如海水中的水分子从阳光中获得足够的能量时，就会发生蒸发现象。图中是一种传统的制盐方式，将海水引入盐田，让阳光照射。当海水中的水分子蒸发掉，最后便可得到盐。

供热系统

供热系统被用来加热人们生活、工作的空间环境。尽管这些供热系统在细部并不相同，但它们的操作原理却是一致的。图中是罗马人建造的热气炕，这是装设于地板下的加热系统。空气通过火炉加热后，通过一系列位于地板下的圆柱、拱门和中空的墙壁，热会上升而使上方的房间变得温暖。







能量守恒定律的普及

自然界的一切物质都具有能量，能量既不能创造也不能消灭，而只能从一种形式转换成另一种形式。这两幅图中跳伞的人和在倾斜木板上骑车的男孩，都具有一定的势能（高度），当两者从高处下降或骑下时，势能会转化成动能，两者速度会越来越大。



1865年，在《力学的热理论的主要方程之便于应用的形式》一文中，为了说明不可逆过程，他引进了一个新的状态函数——熵S，并得出孤立系统的熵增原理，克劳修斯指出宇宙能量是常数，宇宙的熵趋于一最大值。按照克劳修斯的说法，热不能自发地从低温物体向高温物体转移，这使得热力学第二定律以定量形式表述出来，其影响和作用遍于各个方面。

后来，克劳修斯将热力学第二定律扩展到整个宇宙。在他看来，宇宙的熵总是力图达到最大值，当这一最大值达到时，失去继续变化动力的宇宙将处于惰性死亡之中，不再有多种多样的生命形式，宇宙在平衡中达到寂静和死亡。于是，克劳修斯就从中得出了宇宙"热寂论"。

麦克斯韦的“妖怪实验”

Episode Ⅷ

克劳修斯的学说引起了学术界的长期争论。因为热力学第二定律虽说是一个不能违背的科学定律，但把这一定律用于整个宇宙是否合适并无定论，而且也没有充足的证据证明热力学第二定律不能用于整个宇宙。此外，热力学第二定律所揭示的宇宙图景与进化论相反。热力学第二定律揭示了熵增加的方向，指出了世界自发地向无序化方向发展。而进化论揭示了生物由简单到复杂、由低级到高级的进化过程。于是，物理规律与生物规律出现了完全相反的方向。

为了批驳“热寂论”，一些科学家设想了种种方法，试图调和热力学第二定律和进化论间的矛盾，这其中最著名的便是麦克斯韦的“妖怪实验”。

1867年，麦克斯韦设想了一种方式，在外界没有给系统输入功的情形下，热物体能够从冷物体获得热。他设想用一个膜片把容器分成A和B两部分，假设A中气体的温度比B中气体的温度高。然后，他又设想了一个能够见到单个分子的极小的生物。后来威廉·汤姆逊用“精灵”这个词来表示这个极小的生物，后人又把它称为“麦克斯韦

麦克斯韦

麦克斯韦是19世纪伟大的英国物理学家、数学家。他主要从事电磁理论、分子物理学、统计物理学、光学、力学、弹性理论方面的研究。尤其是他建立的电磁场理论，将电学、磁学、光学统一起来，是19世纪物理学发展的最光辉的成果。

光的传播

麦克斯韦他的一生都在寻找解释光传播的力学原理，尤其是借助齿轮和传动系统等模型。图中是他的一位学生粤斯顿制作的模型。





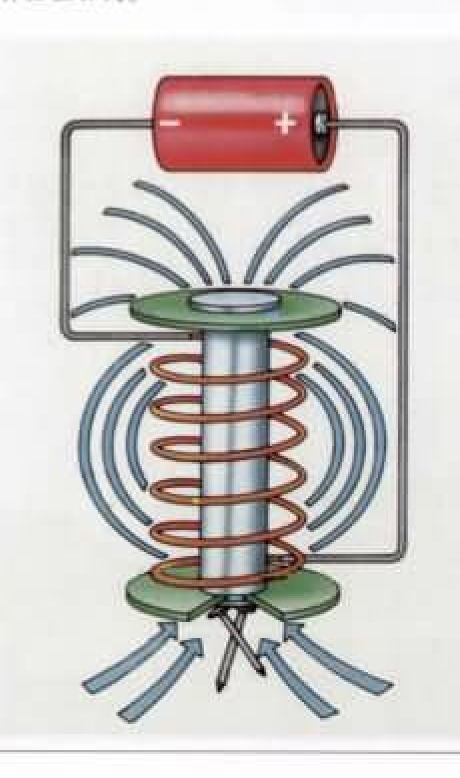


焦耳

克劳修斯的热力学系统研究，是从焦耳确立的热功当量角度出发，他将热力学过程遵守的能量守恒定律归结为热力学第一定律，指出热机做功的过程中，一部分热量被消耗了，另一部分热量从热物体传到了冷物体。图为焦耳像，他的研究为克劳修斯的理论发现奠定了基础。

电磁场理论

电磁场理论的建立是麦克斯韦的主要贡献之一，图中是电流经过线圈产生磁场的示意图。麦克斯韦与克劳修斯、玻耳兹曼三人也是气体动力理论的主要奠基人。克劳修斯曾假定气体中各分子以同样大小的速度，向各个方向随机运动，气体分子同器壁的碰撞会产生气体压强，并第一次推导出著名的理想气体压强公式。



妖”。这个精灵能够打开和关闭在膜片上的小孔，可以任意地允许分子从A和B通过这个小孔，而且有选择地只让B中速度快的分子进入A，而慢分子进入B。其结果是A中的能量增加，B中的能量减少；热物体变得更热，冷物体变得更冷。这样，它将在不消耗功的情形下，只用一个观察力极其敏锐的、且能熟练拨开小孔的精灵，就能将热量从冷物体送到热物体。“麦克斯韦妖”其实就是耗散结构的一个雏形。

1877年，玻尔兹曼发现了宏观的熵与体系的热力学几率的关系。1906年，能斯特提出了“能斯特热原理”。普朗克在能斯特研究的基础上，利用统计理论指出，各种物质的完美晶体，在绝对零度时，熵为零，这就是热力学第三定律。

热力学三定律统称为热力学基本定律，从此，热力学的基础基本得以完备。



生命科学——细胞学说的创立

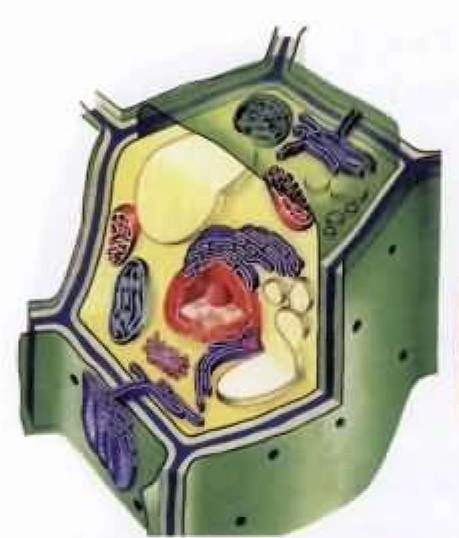
Episode Ⅸ

罗伯特·布朗

苏格兰植物分类学家，他首次发现了布朗运动，即悬浮在液体或气体中的微粒所做的永不停止的无规则运动。

早在17世纪，物理学家胡克就在显微镜下看到软木薄片是由许多蜂窝状的小结构组成的，他将这些小结构命名为“细胞”，这是细胞一词的第一次出现。18世纪，生物的显微研究未取得新的成就，而且生物学家热心关注的是对分类学的研究，对生物微观方面的实验有所忽视。18世纪末和19世纪初，许多科学家试图在植物界和动物界中寻找结构方面的基本单位。19世纪显微镜分辨率的提高，为考察动、植物的微观结构创造了条件。至19世纪30年代，一些科学家在显微镜下观察到细胞的细胞质、细胞核、细胞壁等结构以及细胞质的运动，而且动物体内也发现了细胞。这一时期的工作为细胞学说的建立创造了条件。

细胞的存在已是众所周知的事实，但人们对它的内部结构和功能以及在生物体中所处的地位还不太清楚。细胞学说最终是由德国植物学家施莱登（1804—1881年）和动





植物细胞与动物细胞的结构

细胞是所有有机体构造和发育的基础，一切有机体都是以单一细胞开始有生命，并通过其他细胞的形成而发育着。动物学家施旺曾指出，动物细胞在所有方面都与植物细胞相似，“细胞是有机体，动植物体都是这些有机体的集合物，它们按照一定的法则而排列在动植物体内”。这就推倒了分割动植物界的巨大屏障，为动物和植物之间架设起一座桥梁，为之后生物学中统一的细胞学说的建立奠定了基础。



物学家施旺（1810—1882年）完成的。

M.J.施莱登是细胞学说的创立者，他从理论上和方法上为推动植物科学发展作出了重要贡献。

施莱登1804年生于汉堡一个医生家庭，相继于柏林大学和耶拿大学学习医学与植物科学。

施莱登曾猛烈抨击过秉承林奈传统的植物分类学。他认为，植物学应该是一门包容更为广泛的科学，不仅要研究植物的形态，而且要研究植物活动的规律。同时，施莱登也反对活力论对于植物生理机制的解释，他认为应该从物理和化学的角度去理解植物的生理机制。

1838年，施莱登在《解剖学和生理学文献》杂志上，发表了《论植物发生》一文。在这篇文章中，施莱登首次明确提出细胞是生物的基本单位，细胞核是"植物中普遍存在的基本构造"，细胞核在细胞形成（发生）过程中起了至关重要的作用，并且他还首次提出了"细胞核"这个词。施莱登指出，任何植物，无论是高等的还是低等的，无论是简单的还是复杂的，都是由细胞组成；在植物体中，每个细胞"一方面是独立的，进行自身发展的生活；另一方面是附属的，是作为植物整体的一个组成部分而生活着。所以，植物的生命从根本上说是细胞生命活动的表现形式。他之所以提出这种观点，其主要的一个依据就是发现植物的细胞具有相似的细胞核





花粉颗粒

19世纪早期，欧洲人普遍对植物学产生了浓厚的兴趣，罗伯特·布朗就是其中的一员。在1827年，他观察到植物的花粉颗粒浸在水中时的运动，并对此进行研究。1828年6月到8月，布朗接连发表了《论植物花粉中的微粒》、《论有机物和无机物中活性分子的普遍存在》两篇文章，宣布了他的重大发现。于是，这种浸泡在水中的花粉粒奇异的不规则运动被世人称为"布朗运动"。

纤维素

在植物细胞中，纤维素包裹在果胶、半纤维素、木质素、伸展蛋白等组成的基质中。纤维素与基质黏合在一起增强了细胞壁的抗张强度和机械性能。图中是在由纤维素组成的微纤维中，纤维纵横交错排列情形的放大图。



施 旺

19世纪德国著名的动物学家，细胞学说的奠基人之一，并普遍被认为是现代组织学（研究动植物组织结构）的创始人。1839年，他在发表的《关于动物与植物结构与生长一致性的显微研究》一文中，明确提出了动物和植物都是细胞组成的细胞理论。这也是他对生物学发展最重要的贡献。

和细胞壁。

由于施莱登过于强调细胞核在细胞形成（发生）中的作用，以及简单地理解了生命活动的物理化学过程，使他提出了一个基本上错误的细胞形成理论。他指出，细胞中存在着含有黏液的基本物质，这些物质只经过简单的物理过程（结晶过程），便可以形成细胞；当细胞核长到一定大小时，细胞核周围便形成一个小泡，这个小泡在母细胞中逐渐长大，进而形成了子细胞；当子细胞的体积超过母细胞的细胞核体积时，便从母细胞中分离了出来，于是形成一个完整的新细胞。

到了19世纪中期以后，细胞有丝分裂和减数分裂现象的发现，彻底地修改了施莱登的细胞形成理论。

1837年，施莱登曾与施旺相识，1838年10月，施莱登将自己关于植物细胞发生的理论告诉了施旺。施莱登与施旺的相识与联系，可以说是生物学史上的一大幸事，这样很快将细胞学说从植物科学扩展到动物科学。

T.施旺是德国莱茵河畔一位金匠的儿子，当时德国生理学泰斗J.弥勒的得意门生。施旺对于神经纤维鞘和胃蛋白酶的发现有重要的贡献，而且他曾利用严谨的发酵实验对自然发生学说发起了挑战。

1838年，施旺着手从动物细胞的发生论证施莱登的细胞学说和细胞发生理论。他首先选用的材料是具有相似于植物的细胞壁的动物脊索细胞和软骨细胞，以后他又研究了许多其他种类的动物细胞。在当时的条件下，观察动物细胞远比观察植物细胞要复杂得多。施旺发现，在众多的动物组织形态中，都有细胞核的存在。

施旺在1839年发表的《关于动植物的结构和生长一致性的显微

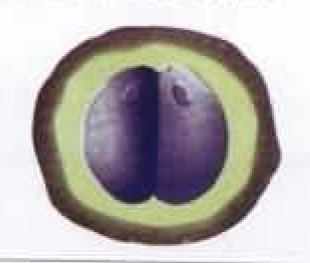
细胞膜

又称质膜，它是细胞表面的一层薄膜，有时称为细胞外膜或原生质膜。主要结构成分一般是蛋白质占60%–80%，类脂占20%–40%，碳水化合物约占5%。细胞膜把细胞包裹起来，使细胞能够保持相对的稳定性，维持正常的生命活动。此外，细胞所必需的养分的吸收和代谢产物的排出，都要通过细胞膜。

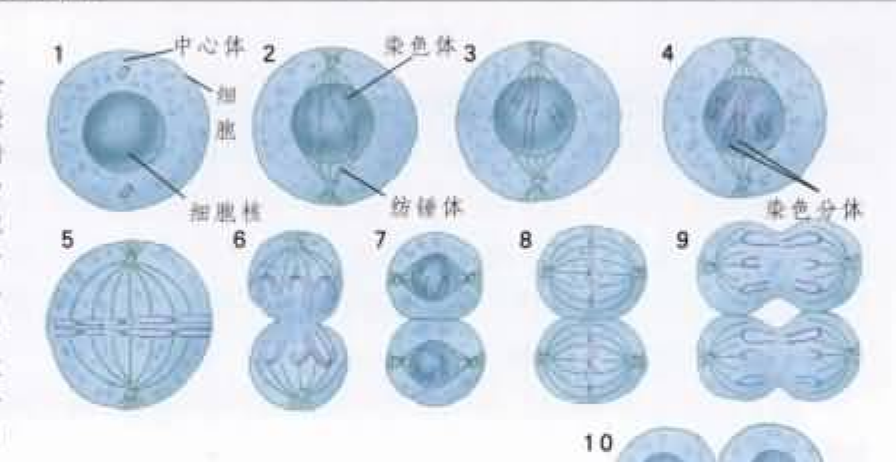
人类细胞的有性生殖

人体中大约有1 800万亿个细胞，这样多的细胞都是从一个受精卵不断分裂而成的。但细胞的分裂过程并不像文中施莱登所强调的那样，而是要经过染色的复制，然后通过无数次的有丝分裂等才产生了许许多多的细胞。









细胞减数分裂

进行有性生殖的生物，会通过减数分裂产生配子。一般雄性所产生的配子被称为精子，而雌性产生的配子则称为卵。经过减数分裂所产生的配子细胞中，染色体的数目仅为原来的一半，当雌雄配子结合后，染色体的数目正好恢复原来的数目。雌雄配子结合的过程称为受精作用。细胞减数分裂一般由相继的两次分裂组成，其过程如图中所示。

研究》一文中，提出了他从动物科学的角度得出的细胞学说。施旺提出，细胞是构成动物的基本单位，动物细胞的基本构成是大致相同的，而且尽管动物细胞生理意义不尽相同，但各种细胞的发生是相似的。施旺1839年发表 的文章的主要目的是要证明动物和植物之间有着本质的联系。他在列举对动物的脊索细胞和软骨细胞的研究后指出："它们的结构和发生的最重要的现象与植物的对应过程相一致。"施旺提出，动物组织和植物组织一样都是由细胞组成的。植物细胞和动物细胞一样，都含有细胞膜、细胞内含物和细胞核。



罗伯特·胡克制作的显微镜

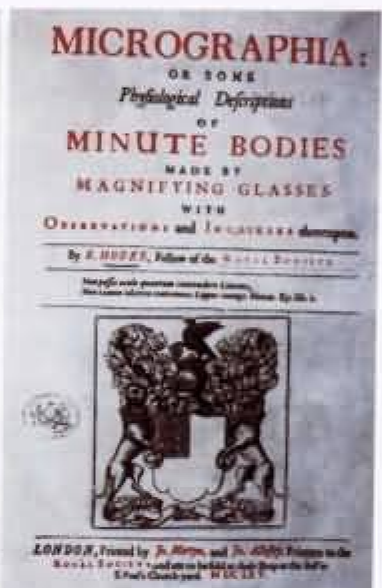
显微镜把一个全新的世界展现在人类的视野里。人们第一次看到了数以百计的"新的"微小动物和植物，以及从人体到植物纤维等各种东西的内部构造。图中是17世纪英国科学家罗伯特·胡克所制作的显微镜。

施旺的另一项重要的工作是试图证明动物的组织来源于细胞。这项工作是极其难做的，首先要证明动物的组织——尤其是某些在当时的显微技术基础上难以分辨清楚的动物组织，是由细胞组成的。施旺明确提出细胞存在的一个重要的标志，这样就为这项工作的顺利进行指出了一个比较合理的方向。遗憾的是，施旺的细胞发生理论几乎完全是从施莱登那里承袭过来的，没有什么改变。

此外，施旺将细胞学说应用到组织学说中，从而提出存在五种组织。

尽管施旺的组织学说仍有一些不足之处，但要比法国人比夏的组织学说前进了一步，主要是施旺的组织学说有对细胞研究的坚实基础。





MICROGRAPHIA:
OR SOME
Physiological Descriptions
OF
MINUTE BODIES
MADE BY
MAGNIFYING GLASSES
WITH
OBSERVATIONS and INQUIRIES thereupon.

显微镜下的跳蚤

罗伯特·胡克所著的《显微镜》书中，介绍了他所制作的能够放大140倍的复式显微镜；还包括大量绘制的动植物显微观察图谱，这些图绘制得相当漂亮和准确。这是引自书中的一幅著名的昆虫图，画的是经过显微镜放大的跳蚤。

《显微镜》书影

罗伯特·胡克曾在自己设计制造的显微镜下观察软木薄片，并意外地发现软木原来是由无数个蜂窝状的小房间所构成的。1665年在他撰写的《显微镜》一书中，详细地记述了他这一重大发现，并把这些小房间取名为“细胞”。图为《显微镜》的扉页。

施旺的细胞学说要比施莱登的细胞学说更为详尽和精致，因此，通过施旺的论文，使细胞学说的普遍有效性及其对于组织学、解剖学和生理学的特殊意义，变得更加清楚了。

施莱登和施旺的细胞学说可以概括为：

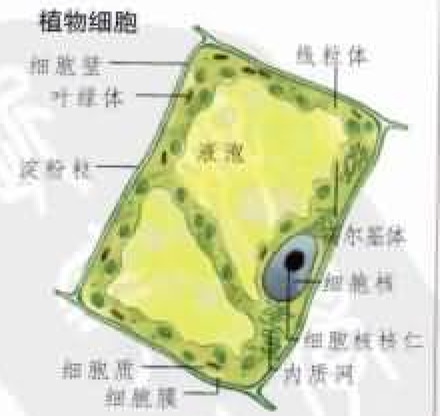
1.任何一个细胞都是从其他细胞中产生出来的；

2.细胞是构成有机体的基本单位；

3.植物和动物的细胞大致是相似的。

细胞学说一经确立，马上显示出其生命力，大大促进了生物学的发展，与达尔文的进化论和孟德尔的遗传学被称为现代生物学的三大基石，而实际上可以说细胞学说又是后两者的“基石”。恩格斯把细胞学说、进化论、能量守恒和转化定律列为19世纪的三大科学发现。

此后，在细胞学说的基础上，人们对生物界进行了更深入的研究，发现了细胞的全能性，即任何细胞都具有发育成完整个体的潜在能力。根据这一理论，人们发展了组织培养、克隆技术等高科技的生物技术。



植物细胞

植物细胞和动物细胞的不同主要体现在结构上有很大区别。大液泡、叶绿体和细胞壁是植物细胞区别于动物细胞的三大结构特征，如图中的植物细胞示意图。

19世纪电磁学与光学的发展

SHIJIUSHIJIDIANCIXUEYUGUANGXUEDEFAZHAN



中国：

公元前480至前380年间，《墨经》记载了小孔成像实验，是有关光学知识的最早记录。

公元前3世纪，《庄子·天下篇》记载了关于平面镜组合成像："鉴以鉴影，而鉴以有影，两鉴相鉴则重影无穷。"

公元前2世纪，《淮南万毕术》载："取大镜高悬，置水盆于其下，则见四邻矣。"其原理和现代的潜望镜类似。

1845年，邹伯奇的光学专著《格术补》完稿，该书推导出透镜和透镜组的聚焦公式。

1864年，郑复光对透光镜的铸造及"透光"成因做了全面解释。

1898年，美国人赫士和朱葆琛合译《光学揭要》，是中国最早介绍X射线的书籍之一。

英国：

1801年，托马斯·杨提出光波的干涉概念，用以解释牛顿的彩色光环以及衍射现象，第一次近似测定光波波长。提出视觉理论，认为人眼网膜有三种神经纤维分别对红、黄、蓝三色敏感。

1809年，戴维发现在两炭棒间大电流放电发出弧形强光，后被用作强光源。

1816年，布儒斯特发现玻璃变形会产生光的双折射现象，为光测弹性学的开端。

1831年，法拉第开始研究电磁学，同年发现电磁感应，并提出相应理论。

1831年，法拉第发现电磁感应现象。

1852年，斯托克斯命名并解释了荧光现象。

1855年至1868年，麦克斯韦完成电磁学的场论方程，在电磁波的传播速率和光速之



间建立起联系，建立了光的理论。

1872 年，麦克斯韦的《电和磁》一书问世，完成了经典电磁理论基础。

1875 年，克鲁克斯进行阴极射线实验。

1885 年至 1887 年，海尔维赛得到光理论的近代形式，并预言了电离空气层，即现在所知的电离层的存在。

1889 年，瑞利按照波传播提出一个辐射模型。

1897 年，汤姆生试验测定电子的荷质比，从实验中发现了电子的存在。

德国：

1827 年，欧姆用公式表明电流与电动力和电阻之间的关系。

1832 年，高斯提出测量磁强度的实验方法，并分别提出电静力学和电动力学定律公式。

1835 年，薛沃德根据波动理论解释光通过光栅的衍射现象。

1842 年，迈尔发现热功当量，建立起热效应中的能量守恒原理。

1857 年，基尔霍夫证明沿导线传播的电信号传播速度等于电流的静电单位和电磁单位之比值，并等于光速，这是光理论和电磁理论统一的先兆。

1861 年，基尔霍夫提出黑体模型。

法国：

1814 年，菲涅尔发现光的干涉现象，并按照波动理论解释它的存在原因。

1819 年，菲涅耳、阿拉戈肯定光波的横向振动理论，建立晶体光学。

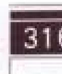
1820 年，安培按照分子电流提出了磁性模型，开创了独立于静电学的电动力学。

1834 年，珀耳帖发现温差电效应的逆效应，用电流产生温差。

1849 年，斐索用转动齿轮首次实验测定光的传播速度。

1896 年，贝克勒尔发现 X 射线，贝克勒尔辐射和发现塞曼效应。

19 世纪是一个科学的世纪。自然科学的突飞猛进，使古典科学发展到了巅峰。那些严密而可靠的知识体系让当时的人们认为自然科学已无须再做更多探讨。然而，人类对自然的认识是无休止的，那种揭开自然科学奥秘的好奇心，驱使着探秘者们在已有的科学成果上继续向前。在 19 世纪众多的科学成就中，电磁学和光学是其中有力的典型之一。

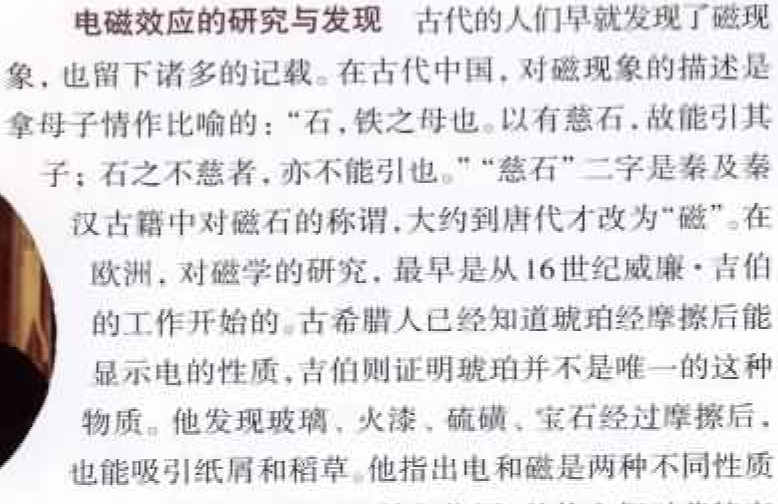


电磁学

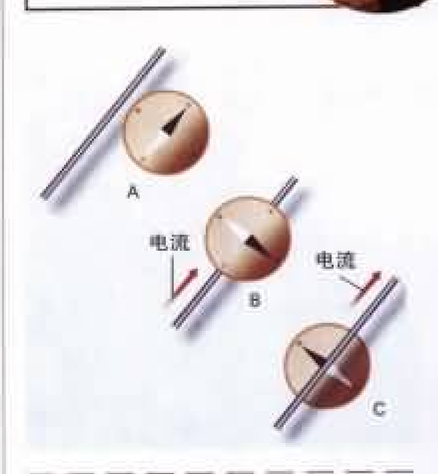
Episode Ⅰ

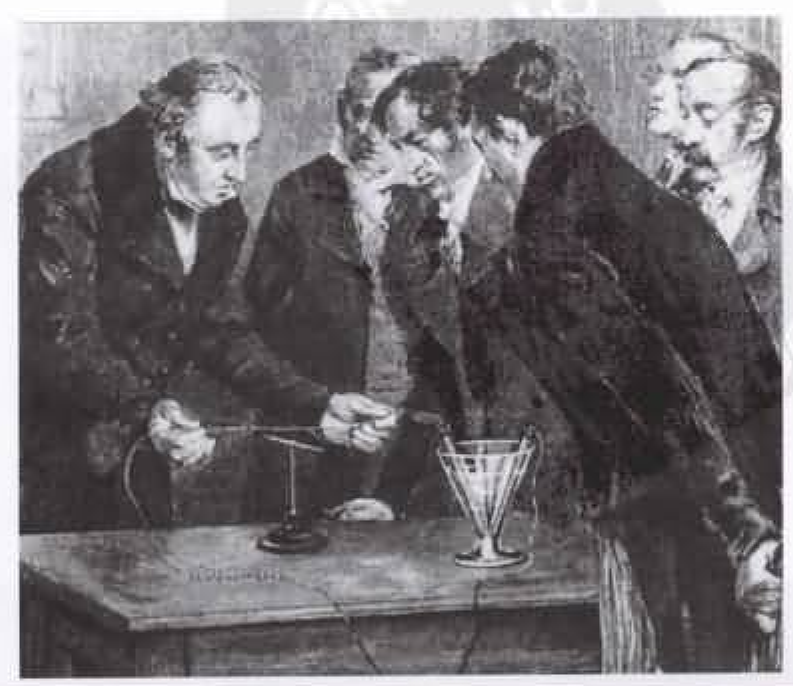
奥斯特

奥斯特的功绩受到了学术界的公认，为了纪念他，国际上从1934年起命名磁场强度的单位为奥斯特，简称“奥”。1937年美国物理教师协会还专门设立了奥斯特奖章，来奖励教学有成绩的优秀物理教师。



电磁效应的研究与发现 古代的人们早就发现了磁现象，也留下诸多的记载。在古代中国，对磁现象的描述是拿母子情作比喻的：“石，铁之母也。以有慈石，故能引其子；石之不慈者，亦不能引也。”“慈石”二字是秦及秦汉古籍中对磁石的称谓，大约到唐代才改为“磁”。在欧洲，对磁学的研究，最早是从16世纪威廉·吉伯的工作开始的。古希腊人已经知道琥珀经摩擦后能显示电的性质，吉伯则证明琥珀并不是唯一的这种物质。他发现玻璃、火漆、硫磺、宝石经过摩擦后，也能吸引纸屑和稻草。他指出电和磁是两种不同性质的力，磁力只对天然磁石和铁起作用，并使它们对着特定的方向；电力则能作用于许多种材料，并且没有一定的方向。这一错误延续了200多年，在此期间，人们也曾发现电





奥斯特的发现

指针方向的变化，是引起奥斯特注意的关键。如图中，当电流从导线中通过时，指针的朝向便发生改变，且正好与导线的方向垂直。这一现象使奥斯特意识到，是电流产生的磁作用使指针移动，这就是电磁性。奥斯特的重大发现使欧洲物理学界产生了极大的震动。右图中，奥斯特正在向他的同事们展示其实验成果。

和磁相关联的现象，但却因为基本观念的错误而忽视。

奥斯特 19世纪20年代，丹麦物理学家、哥本哈根大学物理学教授汉斯·克利斯提安·奥斯特（1777—1851年）打破了以前的陈旧观念，拉开了电磁学大发展的序幕。

1777年，奥斯特生于一个药剂师家庭。1794年考入哥本哈根大学，1799年获博士学位。1801至1803年去德、法等国访问，结识了许多物理学家及化学家。1806年起任哥本哈根大学物理学教授，1815年起任丹麦皇家学会常务秘书。1820年因电流磁效应这一杰出发现获英国皇家学会科普利奖章。

作为德国自然哲学派的忠实追随者，奥斯特坚信电与磁之间有某种相互联系的关系。自1807年起，奥斯特就开始研究电和磁之间的关系。1820年4月，奥斯特在一次实验中证实了一根通电的导线会绕着磁极旋转，反之，一个磁铁有绕一根固定的通电导线旋转的趋势。7月21日，这一划时代的日子被载入史册，它揭开了电磁学的序幕，标志着电磁时代的到来。这天奥斯特发表了《关于磁针上电流碰撞的实验》的论文。在文中指出，电流所产生的磁力与电流方向相垂直。且"所有非磁性体都能为这种电冲突（电流的磁效应）透过，但磁性体则抗拒它通过，因此它们就能在冲突力量的推动下运动"。奥斯特的发现引起人们很大的兴趣，根据这一发现，法国物理学家安培（1775—1836年）于1825年提出一种假说，认为磁化的微粒中存在着很小的无阻抗的圆形电流，由此而产生磁性。

安 培 1775年生于法国里昂一个富商家庭。年少时就显示出数学才能。他的父亲信奉J.J.卢梭的教育思想，供给他大量图书，令其走自学的道路，于是他博览群书，吸取营养。当奥斯特发现电流磁效应后，引起了安培的注意。他集中全部精力进行研究，两周后就向法国科学院提


Overſigt

der Kongelige Danſke Videnſkabernes Selſkabs

Forhandlinger

af

Profeſſor H. C. Ørsted,

奥斯特的论文

奥斯特注意到了电与磁之间的密切联系。他通过实验发现：当电流在罗盘针周围流过时，罗盘的指针发生偏转。图中正是他公布其发现的论文。



奥斯特针

电流磁效应，是科学史上的重大发现。它立即引起了科学界那些深知其重要性和价值的人们的注意。奥斯特的实验也被一遍又一遍地重复着。图中是1828年用于实验的奥斯特针。





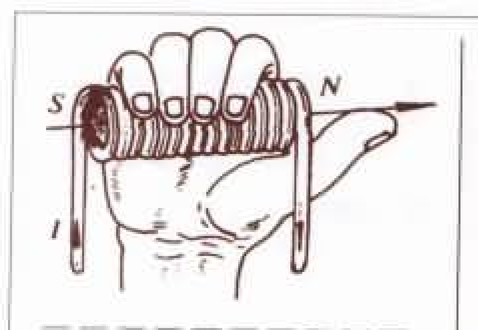
安 培

法国物理学家，在数学和化学方面也颇有建树。安培最主要的成就是对电磁作用的研究，麦克斯韦曾称赞他的工作是"科学上最光辉的成就之一"，并将其誉为"电学中的牛顿"。

出了磁针转动方向和电流方向的关系服从右手定则的报告，这个右手定则就是后来著名的安培定律。接着他又提出了电流方向相同的两条平行载流导线互相吸引，电流方向相反的两条平行载流导线互相排斥的观点。他的安培定律指出，两电流源之间的作用力与距离平方成反比，后来这成为电动力学的基础。

1821年，安培提出了著名的分子电流假说。他认为，构成磁体的分子内部存在一种环形电流——分子电流，由于分子电流的存在，每个磁分子成为小磁体，两侧相当于两个磁极。通常情况下磁体分子的分子电流取向是杂乱无章的，它们产生的磁场互相抵消，对外不显磁性。当外界磁场作用后，分子电流的取向大致相同，分子间相邻的电流作用抵消，而表面部分未抵消，它们的效果显示出宏观磁性。安培的分子电流假说在当时物质结构知识甚少的情况下无法证实，它带有相当大的臆测成分；在今天已经了解到物质由分子组成，而分子由原子组成，原子中有绕核运动的电子，安培的分子电流假说有了实在的内容，已成为认识物质磁性的重要依据。

安培第一个把研究动电的理论称为"电动力学"。1827年，安培将他的电磁现象的研究综合在《电动力学现象的数学理论》一书中。这是电磁学史上一部重要的经典论著。为了纪念他在电



安培定律

也叫右手螺旋定则：用右手握住导线，让伸直的大拇指所指的方向和电流方向一致，弯曲的四指所指的方向就是磁感应线的环绕方向。

电阻器

电阻是电子电路最常用的基本元件。其基本特性是：对交流电和直流电都呈现相同的阻力。这种阻力的运动形态，可由欧姆定律的算术表达式进行描述。1826年，物理学家欧姆发现了电学上的一个重要定律——欧姆定律。欧姆定律及其公式的发现，给电学的计算，带来了很大的方便。人们为纪念他，将电阻的单位定为欧姆，简称"欧"。



磁学上的杰出贡献，电流的单位“安培”以他的姓氏命名。安培还是发展测电技术的第一人，他用自动转动的磁针制成测量电流的仪器，以后经过改进称电流计。安培在他的一生中，只有很短的时期从事物理工作，可是他却能以独特的、透彻的分析，论述带电导线的磁效应，因此将他称为电动力学的先创者，是当之无愧的。



欧姆

欧姆通过实验发现了电流公式，后来被称为欧姆定律。欧姆在著作里还证明了：电阻与导体的长度成正比，与导体的横截面积和传导性成反比；在稳定电流的情况下，电荷不仅在导体的表面上，而且在导体的整个截面上运动。为纪念他，电阻的单位定为欧姆，简称“欧”，符号为Ω。

欧　姆　德国物理学家欧姆在法国数学家傅立叶于1822年所发现的关于热传导过程中热流量与两点间的温度差成正比的启发下，研究电路中的电势、电流和电阻之间的关系。经过实验和理论的论证，欧姆终于得出“通过导体的电流与电势差成正比，与电阻成反比”的结论，这个结论就是著名的欧姆定律。1826年，他发表了实验结果，次年出版了《关于电路的数学研究》，在理论上给出了欧姆定律的推导。他的研究工作日益



富兰克林

富兰克林曾提出关于闪电与电的性质相同这一假设，并一直试图加以验证。艺术家运用绘画的方式，向人们展示了富兰克林的实验。在雷电交加的背景前，富兰克林通过钥匙与风筝线，将雷电中的电流传给电容器。



科学的探索

在19世纪，许多科学家和科学分析家开始把科学设想成一个持续的、或永无止境的探索。如图，科学所显示出的巨大魔力，牢牢抓住了人们的视线。在这一时期，科学运用的新动力推动着人类知识的前行。



受到人们的关注，伦敦皇家学会于1841年授予他科普利奖章。他的成就得到了公众的认可。

电磁感应定律的发现——法拉第 当奥斯特实验传到英国后，在英国物理界引起了强烈的反响。青年科学家法拉第（1791—1867年）相信磁可能也会有电流效应，为了寻找这种效应，他进行了无数次实验。法拉第出身于伦敦郊区一个贫穷的家庭，他自小聪颖好学，在印刷厂当童工时，翻阅了不少书籍。随着他对科学的热爱，法拉第立志成为一个科学家，他拜化学家戴维为师，走上了一条对科学的探索之路。



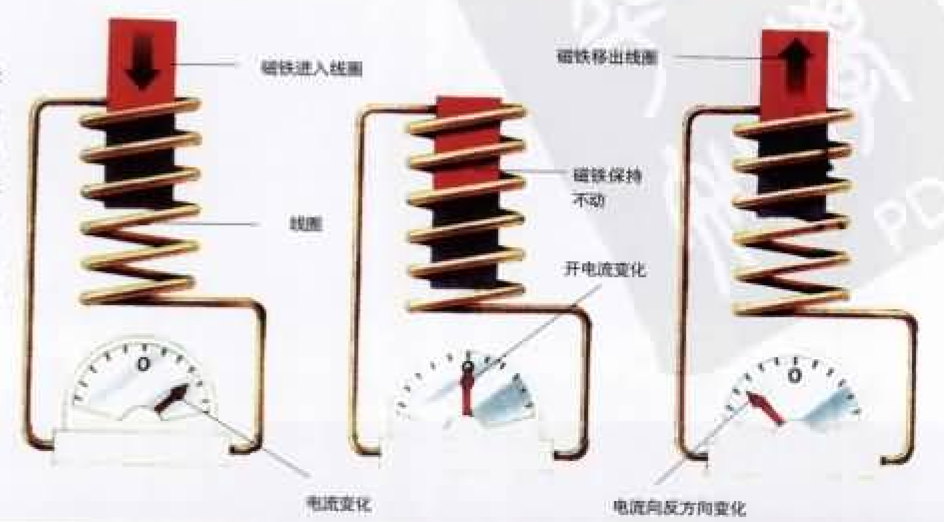
法拉第

法拉第是电磁场理论的奠基人。他首先提出了磁力线、电力线的概念，在电磁感应、电化学、静电感应的研究中进一步深化和发展了力线思想，并第一次提出场的思想，建立起电场、磁场的概念。爱因斯坦曾指出，场的思想是法拉第最富有创造性的思想，是自牛顿以来最重要的发现。

1831年，青年法拉第发现了电磁感应现象，他的实验证明一个电流可以产生另一个电流，这个现象把机械运动、磁同电流的产生普遍地联系在了一起。他发现，当一个金属线圈中的电流强弱发生变化时，能在一个邻近的线圈中感应出一个瞬时电流。如果将通有恒定电流的线圈（或者同样用一个永久磁铁也行）在第二个线圈附近移动，也会产生同样的效应。正如奥斯特发现了电动机的基本原理一样，法拉第发现了发电机的基本原理。同年11月24日，他向皇家学会提交了一篇论文，宣告了这个重大发现。这个发现预示了人类即将到来的电气时代。

电磁现象

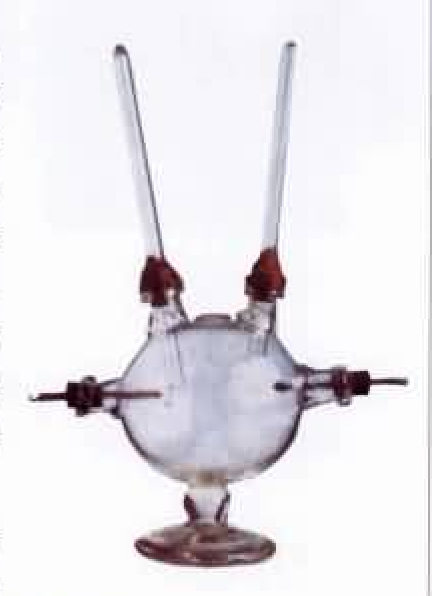
1831年，英国物理学家法拉第进行多次实验和研究发现了电磁感应定律。其研究过程用磁铁或通电线圈与线圈相对运动，此时线圈中会产生电流。而电流也会根据磁铁的运动而变化。



为了解释当时所已知的电磁现象，法拉第发展了一种具有他个人特点的世界图像。他把影响电磁作用力的传递媒介称为“场”，而磁力则引入了“力线”的概念。在磁场中用小罗盘，或在一张纸上洒上铁屑，就可看到连接相反两极的线，因此组成磁场的线可以标志出来。这些力线将相反的电荷或磁极连接起来，会排成一个规则的圆形，这就是磁力线的形状。在法拉第1851年所发表的《论磁力线》一文中，他用自己创造的“场”和“力线”的独特概念，建立了电磁感应定律。“场”和“磁力线”的概念至今仍为物理教学所使用。

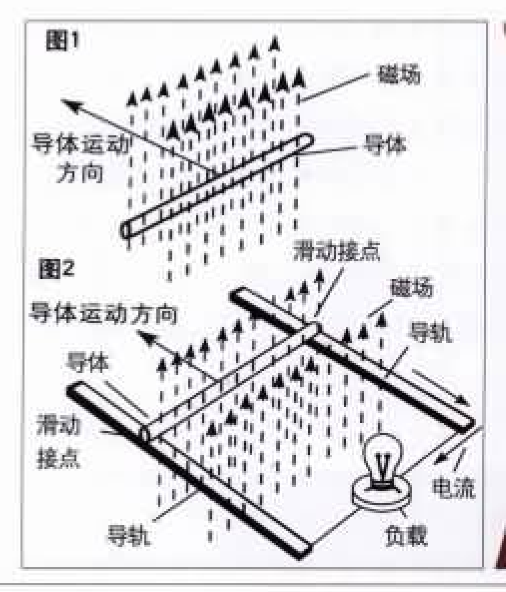
自19世纪40年代以来，他的新发现一个接着一个，1837年，法拉第发明了电容器。1845年，法拉第在研究过程中偶然发现了磁的旋光现象，即著名的法拉第效应。随后，又发现了抗磁现象。

1867年8月25日，法拉第在伦敦去世，遗体被安葬在海格特公墓。为了纪念他，人们用他的名字命名电容的单位——法拉。



电压器

法拉第在研究电解作用时，从实验结果发现通过电解池的电量与析出物质的数量有一定的关系，并将其总结为两个电解定律。这两个定律均以他的名字命名，构成了电化学的基础。此仪器是法拉第在研究电解的实验中所使用的电压器。





电磁产生电流原理

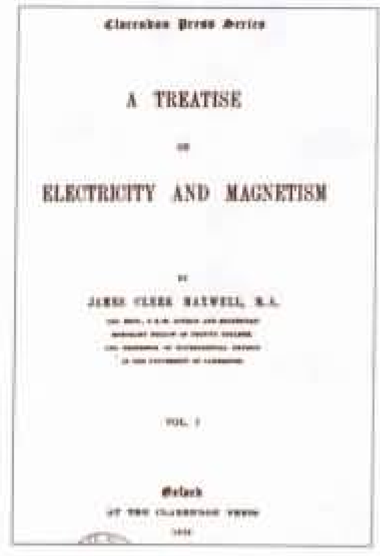
感应电流的产生是由导体切割磁力线所致，电流的方向则取决于磁力线被切割的方向，而闭合线圈磁力线就可以产生电流。

皮克西的发电机

图中是1832年，法国科学家皮克西根据法拉第电磁感应原理，制造的一台电磁机器。这台机器利用旋转的磁棒，以及固定的感应线圈来发电。






Clarendon Press Series

A TREATISE

ON

ELECTRICITY AND MAGNETISM

BY

JAMES CLERK MAXWELL, M.A.

VOL. I

Oxford

AT THE CLARENDON PRESS

詹姆斯·克拉克·麦克斯韦

在科学史上，一些重大的理论，常常要靠许多人的前赴后继、不辞劳苦的努力，才能创立起来。从奥斯特、安培发现电流的磁效应开始，经过法拉第的奠基，到理论的完成，前后经历了半个多世纪。最后完成这个理论的人，是英国杰出的数学和物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦。

电磁理论大厦的奠定——麦克斯韦 法拉第的开创性工作，为电磁学打下了物理概念基础。但是物理是一门以数学形式来表达其科学性的学科，在法拉第以前的电磁概念都只是建立在理论的基础上的。直到数理天才麦克斯韦的出现，才解决了这一状况。

麦克斯韦（1831—1879年），英国物理学家。出身于爱丁堡一个名门望族，他年少时便显露出卓越的数理天才。1847年在爱丁堡大学学习数学和物理，三年后考入剑桥三一学院，主攻数学物理学。1856年麦克斯韦被阿伯丁马里歇尔学院聘为教授。1860年转往伦敦皇家学院，1871年在剑桥大学任实验物理学教授，麦克斯韦一生有许多科学成就，尤其是在电磁学理论方面。

1855年，麦克斯韦写了《论法拉第的力线》一文，引起了物理学界的重视。1862年他发表的《论物理学的力线》以完整的数学形式表述了电磁场理论，弥补了以前光有概念而缺少数理表述的不足。1864年，麦克斯韦又发表了一篇著名的论文《电磁场的动力学理论》，提出了著名的麦克斯韦方程，并提出了电磁波的概念。他认为"光是引起电磁现象的那种介质中的横向波动"。麦克斯韦还证明，电磁波的传播速度应当等于光速和该物质的电容率的平方根的乘积，由于光在透明物质中的速度依赖于其折射率，因此一种物质的电容率看来应当等于其折射率的平方。这个预见后来得到了证实。

麦克斯韦一生并没有做许多实验来证实从他理论上引申出来的各种预见，也没有进一步从定性方面发展电磁以太模型以及假想的电微粒或电子观念。他在晚年，主要总结、整理了电磁学的理论成就。1873年，麦克斯韦出版了伟大著作《电磁通论》。这本书集19世纪以来的电磁学之大成，是一部经典之作。

电磁学的发展

继安培率先提出一切磁现象的根源是电流的假说之后，法拉第发现感应电动势的规律，并最终由麦克斯韦根据电与磁的相互作用，预言电磁波的存在，奠定了当今所研究的电磁学容的理论基础。图中是1873年，麦克斯韦讨论电与磁的论文的标题页。

1879年11月5日，年仅48岁的麦克斯韦辞世，在他去世时，仍未能在实验室里发现电磁波，但现在的信息通讯中，电磁波早已成为最基本的传输载体了。

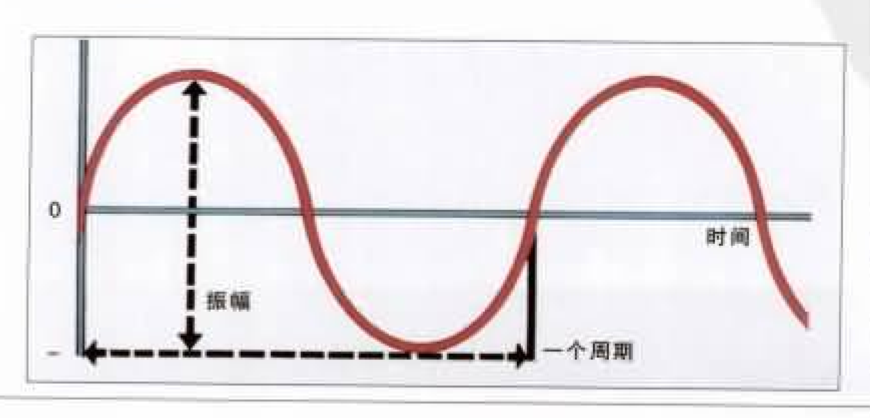
发现电磁波——赫兹 电磁波的实验发现是由德国物理学家海因里希·赫兹（1857—1894年）完成的。从光的电磁说所做出的一个最重要的推论是由都柏林的自然哲学教授菲茨杰拉德（1851—1901年）在1883年提出的，他指出，如果麦克斯韦的学说是正确的，那么用纯粹的电学办法使电路中的电流作周期性的变化，就应当能产生出电磁辐射。

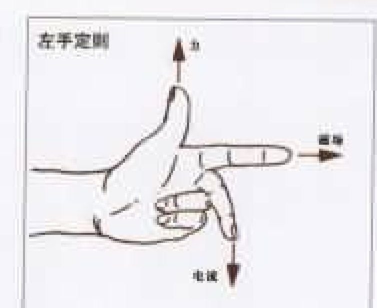
按照这个设想，赫兹在1886年发明了一种检测电磁波的仪器，在实验中他发现，如果将一个导线回路放在一个正在工作的感应线圈附近，在回路两端的短隙之间就出现电火花。辐射转为电流，它通过电火花产生间隙放电。赫兹接着利用这个简单仪器进一步证明这种辐射具有和光类似的特性。1888年1月，赫兹发表了《论动电效应的传播速度》，证明了电磁波具有与光完全类似的特性。他



赫兹与频率

频率是指单位时间内，某一过程反复出现的次数，它可以用来表示波的运动。频率的国际单位制为赫兹，它是以赫兹的名字来命名的，1赫兹相当于每秒一周期或一振动。频率与波长有关，两者的乘积等于波速。









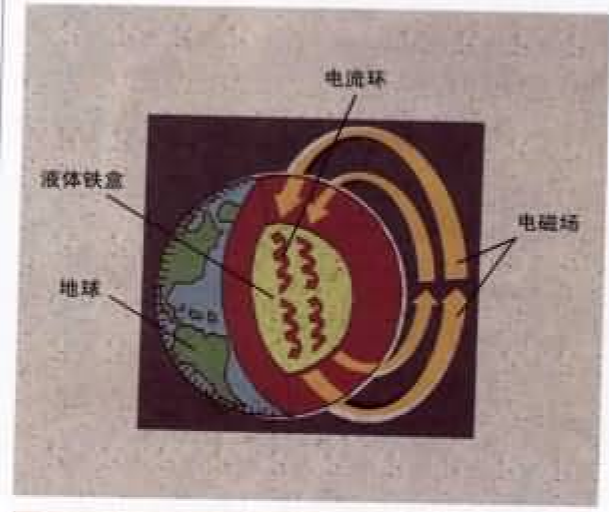


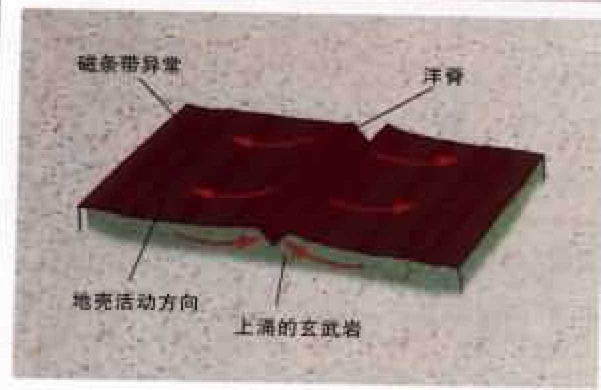


电磁原理图

此系列图依次说明了左手定则原理、右手定则原理以及电流产生磁原理。







电磁地球

众所周知，电磁场的存在是自然界存在的客观物质，例如我们所生活的地球，其本身就是一个巨大的电磁场。地球的铁核心主要是液体，当地核飞快旋转时，磁化的旋涡液体铁产生环状电流，环绕地球形成一个电磁场。

海底磁性条带

在地球上，岩石在成岩过程中受到地磁场的磁化作用，获得微弱磁性，并且无论地磁场怎样改换方向，只要温度不高于一定的标准，岩石的磁性是不会改变的。在第二次世界大战之后，科学家曾使用高灵敏度的磁力探测仪，在大西洋、太平洋洋底进行探测，两次调查的资料表明，在大洋底部存在着等磁力线条带。

认为，电磁波在实验室的墙壁上发生反射，在通过硬沥青的三角棱时能够发生折射。此外，电磁波像光波一样有衍射、偏振现象，在直线传播时，其速度与光速是同一个数量级。赫兹就这样证实了麦克斯韦光的电磁说中最重要的预见。他所提供的这些基本发现也为以后的无线电广播和雷达的发展奠定了基础。

在赫兹之后，意大利青年物理学家马可尼实现了无线电波的通讯。

光的本质

Episode Ⅱ

惠更斯

荷兰物理学家、天文学家、数学家。他在摆钟的发明、天文仪器的设计、弹性体碰撞和光的波动理论等方面都有突出成就。惠更斯在1678年给巴黎科学院的信和1690年发表的《光论》一书中，都阐述了他的光波动原理，即惠更斯原理，并在此基础上推论出了光的反射和折射定律。



波动说与微粒说 在天文学和解剖学等相关学科的推动下，伴随着光学仪器的发明和制造，到17世纪末，光学已经成为了物理学的一个重要分支，是物理学中应用最为广泛的一个门类。随着几何光学的发展，物理光学的研究也开始起步。

1663年，英国科学家波义耳提出了物体的颜色不是物体本身的性质，而是光照射在物体上产生的效果。他第一次记载了肥皂泡和玻璃球中的彩色条纹，为后来的研究奠定了基础。不久，英国物理学家胡克通过对肥皂泡薄膜颜色的观察提出了"光是以太的一种纵向波"的假说。然而1672年，伟大的牛顿在他的论文《关于光和色的新理论》中谈到了光的色散实验：让太阳光通过一个小孔后照在暗室里的棱镜上，在对面的墙壁上会得到一个彩色光谱。他认为，光的复合和分解就像不同颜色的微粒混合在一起



牛顿的微粒说

1704年出版的《光学》一书中，牛顿认为光是从发光体发出的而且以一定速度向空间直线传播的微粒，这种看法被称为微粒说。



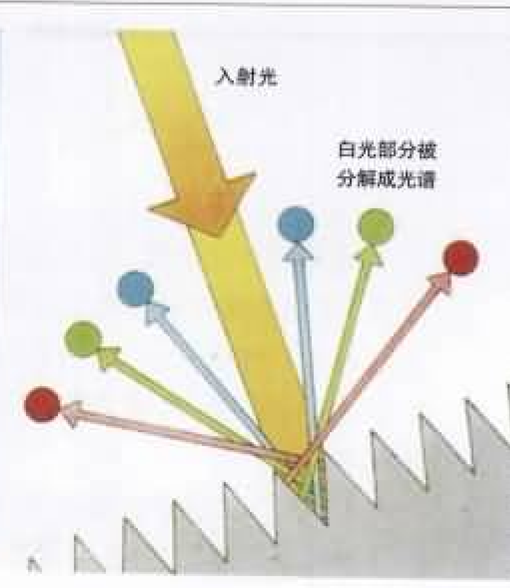
光与物象

我们之所以能够看见客观世界中斑驳陆离、瞬息万变的景象，是因为眼睛接收到物体发射、反射或散射的光。例如从镜中看到镜前物体的像，是因为镜前的物体发出(或反射)的光线，经过镜面反射后进入我们的眼睛。











肥皂泡薄膜的色彩

光能在肥皂泡的薄膜中呈现出缤纷的色彩，随着肥皂泡在风中飘落，七彩的水膜随之漂浮直至消失。肥皂泡的薄膜是人的眼睛能够辨别的最细最薄的东西的一种。肥皂泡薄膜面上诱人的色彩，不但带给人们稍纵即逝的欢乐，也使物理学家可以量出光波的波长，而研究娇嫩的薄膜的张力，又帮助了关于分子力作用定律的研究。

折 射

折射是当波的速度改变时，波的行进方向产生改变。例如当光由空气中穿过水或玻璃时，便会发生改变。如图所示，将两支吸管放进装有水的玻璃杯中，当我们从旁边看玻璃杯时，会发现吸管似乎扭曲了，而由杯口往下看，却没有这样的现象。这是由于光在玻璃中的速度比在空气中慢，因此产生了折射。

光在不规则表面的反射

当入射光线在物体表面微小的、不规则形状之间来回反射时，物体便会呈现出七彩斑斓的色彩。

又被分开一样。在这篇论文里他用微粒说阐述了光的颜色理论。第一次波动说与粒子说的争论由“光的颜色”这根导火索引燃了，从此胡克与牛顿之间展开了漫长而激烈的争论。

波动说的支持者，荷兰著名天文学家、物理学家和数学家惠更斯继承并完善了胡克的观点。1666年，惠更斯开始了对物理光学的研究。在他担任巴黎科学院院士期间，惠更斯曾去英国旅行，并在剑桥会见了牛顿。二人交流了对光的本性的看法，但此时惠更斯的观点更倾向于波动说，因此他和牛顿之间产生了分歧。正是这种分歧激发了惠更斯对物理光学的强烈热情。回到巴黎之后，惠更斯重复了牛顿的光学试验。他仔细研究了牛顿的光学试验和格里马第实验，认为其中有很多现象都是微粒说所无法解释的。因此，他提出了波动学说比较完整的理论。

惠更斯认为，光是一种机械波；光波是一种靠物质载体来传播的纵向波，传播它的物质载体是“以太”，波面上的各点本身就是引起媒质振动的波源。根据这一理论，惠更斯证明了光的反射定律和折射定律，也比较好地解释了光的衍射、双折射现象和著名的“牛顿环”实验。1678年，惠更斯向巴黎科学院提交了他的光学论著《光论》。在《光

论》一书中，他系统地阐述了光的波动理论。同年，惠更斯发表了反对微粒说的演说。1690年，《光论》出版发行。

就在惠更斯积极地宣传波动学说的同时，牛顿的微粒学说也逐步建立起来。牛顿修改和完善了他的光学著作《光学》。在《光学》一书中，牛顿一方面提出了两点反驳惠更斯的理由：第一，光如果是一种波，它应该同声波一样可以绕过障碍物、不会产生影子；第二，冰洲石的双折射现象说明光在不同的边上有不同的性质，波动说无法解释其原因。另一方面，牛顿把他的物质微粒观推广到了整个自然界，并与他的质点力学体系融为一体，为微粒说找到了坚强的后盾。

由于惠更斯的波动说还欠缺完整性，因牛顿在科学界崇高的威望，使微粒说在整个18世纪占据了主导地位，几乎无人向微粒说挑战，也很少再有人对光的本性做进一步的研究。

19世纪复兴的波动说 18世纪末，在德国自然哲学思潮的影响下，人们的思想逐渐解放。英国著名物理学家托马斯·杨（1773—1829年）开始对牛顿的光学理论产生了怀疑。根据一些实验事实，杨于1800年写成了论文《关于光和声的实验和问题》。在这篇论文中，杨把光和声进行类比，他认为光是在以太流中传播的弹性振动，并指出光是以纵波形式传播的，他同时指出光的不同颜色和声的不同频率是相似的。在经过百年的沉默之后，波动学说终于重新发出了它的呐喊，光学界沉闷的空气再度活跃起来。

1801年，杨进行了著名的杨氏双缝干涉实验。实验

光的特性

电磁波具有粒子流的性质，若没有遇到折射或反射就永远作直线运动。当光在通过极化的滤纸时，就会表现出电磁波的特性。一束普通的光包含了可以向各个方向振动的波，在极化滤纸中，既有类似于水平的，又有类似于垂直的小裂缝，当光进入它时便会变暗，这说明只有某些振动方向的波能够通过，其他的波则被挡掉了。

电磁波谱

天体所发出的电磁辐射，包含所有可能的波长或频率。不同波长的电磁波，表现出的特色有明显的差异。将所有电磁波按波长顺序排列起来，便成为电磁波谱，包括γ射线、X射线、紫外线、可见光、红外线与无线电波(微波、短波、中波、长波和超长波等)，可见光只是其中一个很窄的频段。科学家往往用“光”这个字眼来指称电磁波谱中可见光的部分。







所使用的白屏上明暗相间的黑白条纹证明了光的干涉现象，从而证明了光是一种波。同年，托马斯·杨在英国皇家学会的《哲学会刊》上发表论文，分别对“牛顿环”实验和自己的实验进行解释，首次提出了光的干涉概念和定律。1803年，杨发表论文《物理光学的实验和计算》。他根据光的干涉定律对光的衍射现象做了进一步的解释，认为衍射是由直射光束与反射光束干涉形成的。虽然这种解释不完全正确，但它在波动学说的发展史上有着重要意义。1807年，在《自然哲学讲义》中，杨系统地阐述了他提出的波动光学的基本原理。

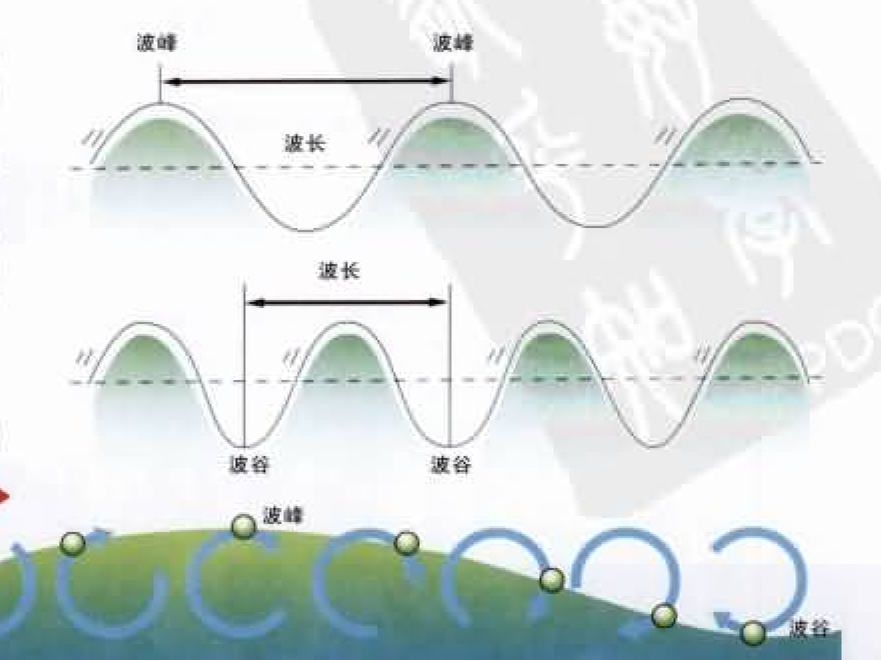
1809年，法国物理学家马吕斯（1775—1812年）在实验中发现了光的偏振现象。在进一步研究光的简单折射中的偏振时，他发现光在折射时是部分偏振的。因为惠更斯曾提出过光是一种纵波，而纵波不可能发生这样的偏振，这一发现成为了反对波动说的有力证据。面对这种情况，托马斯·杨对光学再次进行了深入的研究，1817年，他放弃了惠更斯的光是一种纵波的说法，提出了光是一种横波的假说，比较成功地解释了光的偏振现象。

散 射

散射是光在媒质中传播时，部分光线偏离原方向而分散传播的现象。如太阳光线和空气里肉眼看不到的空气分子发生碰撞，向各个方向散开来，引起散射现象。而散射容易产生蓝色的光，因此白天的天空看上去是蓝色的。

波 长

牛顿是第一个揭示了光的色学性质的人。他用实验说明太阳光是各种颜色的混合光，并发现光的颜色决定于光的波长。不同波长的光照射到人眼视网膜上，将给大脑不同的感觉，这种感觉称为色觉。人们就是依靠自己的色觉来辨别物体的颜色的。



表面波的示意图

与此同时，法国物理学家菲涅尔（1788—1827年）在毫不了解杨的工作的基础上独立地提出了光的波动理论。1815年，他向法国科学院提交了第一篇光学论文，由于论文实验理论确凿，很快获得法国物理学界支持。1819年，他同阿拉果一起证实了杨关于光是一种横波的主张。由于他们的共同努力，微粒说一统光学界的局面终于被打破了。基于波动学说的大量光学实验，使19世纪的物理光学得到了重要发展。

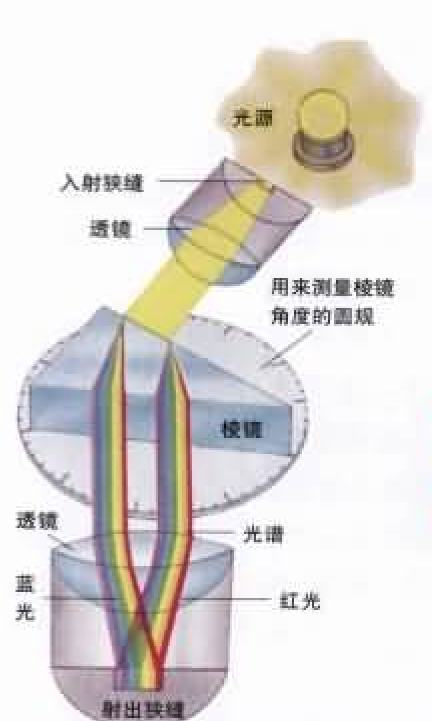
光谱研究 光波动说的确立促使物理光学中的光谱研究相继出现，成为19世纪物理光学的一个突出成就。1814年，德国物理学家夫琅和费（1787—1826年）在光谱学上作出了重大贡献。1814至1815年，夫琅和费向慕尼黑科学院展示了自己编绘的太阳光谱图，内有多条黑线，并对其中的八根显要的黑线标以A至H等字母（人称“夫琅和费线”），这些黑线后来就成为比较不同琉璃材料色散率的标准，并为光

光谱学

利用分光仪分析物质和辐射的科学被称为“光谱学”，而利用玻璃棱镜将光散成光谱，是分光仪中的一种形式。如图，光源在通过棱镜后，会散成其所含成分的有色光带，这些有色光带称为可见光谱。

物体的颜色

物体具有特定的颜色，是因为它们只反射光谱中的某一部分，而吸收了其他的光。如植物的叶子看起来是绿色，是由于它不吸收光谱中的绿色部分。



色光三原色

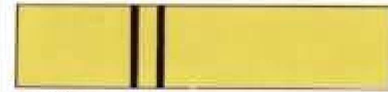
红、黄、蓝是色光三原色，也称为“三基色”。这三种光波在不同强度下，可以复合成光谱中的各种色光，但没有任何光可以混合成这三种原色。如图中，当色光三原色混合后，便会呈现出白色。







连续光谱



吸收光谱



发射光谱



光 谱

光谱是不同波长和频率的电磁辐射的总体呈现。利用吸收光谱或放射光谱，可找出不同物质的波长。在吸收光谱中，由于物质吸收特定波长的能量，所以呈现出的光谱会在特定波长的物质上有暗线；在放射光谱中，物质因受热放射出光线，则会出现有色谱线。

偏振光

偏振光是指波的振动方向局限在某个方向上的光，它能使纤维张力呈现出一道道的彩虹色彩，图为牙刷毛的特写镜头。

谱的精确测量提供了基础。1821年，夫琅和费第一个用光栅作为折射装置，使太阳光形成了一个更精细的光谱，利用光栅，他试着测定了太阳谱线的波长。

1859年，德国物理学家基尔霍夫（1824—1887年）解释了太阳光谱中黑线的含义。他发现这些黑线就是各种单纯物质的特征谱线。在这个基础上，基尔霍夫开创了光谱分析方法，这一重要的分析方法后来被广泛地运用到近代原子物理学和天体物理学的实验研究之中。

19世纪80年代，光谱学已经取得了很大的发展，积累了大量的数据资料。摆在20世纪物理学家面前的任务，是整理这些浩繁杂乱的资料，找出其中的规律，并对光谱的成因，即光谱与物质的关系做出理论的解释。

测定光速 在物理光学史上，光速的测定不仅推动了光学实验，也打破了光速无限的传统观念，为粒子说和波动说的争论提供了判定的依据，从而最终推动了爱因斯坦相对论理论的发展。

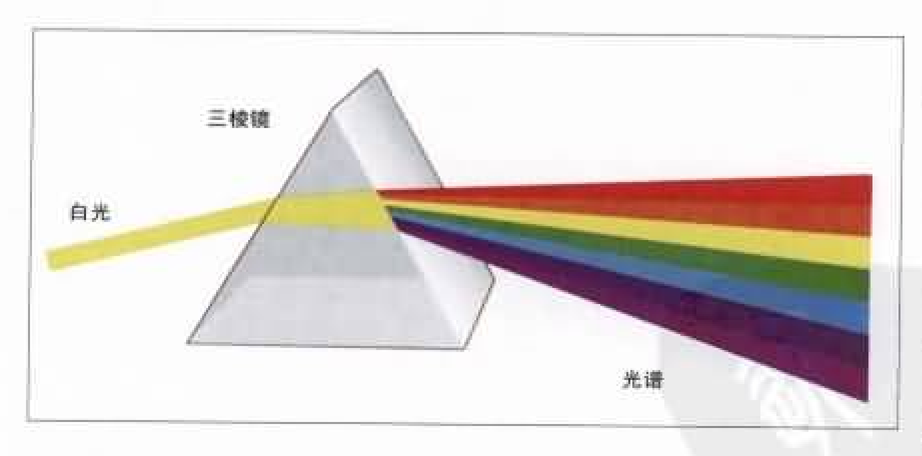
在光速的问题上，17世纪的开普勒和笛卡尔都认为光的传播不需要时间，是瞬时进行的，因而无从测定。而伽利略则认为，光速虽然传播得很快，但却是可以测定的。1607年，伽利略进行了最早的测量光速的实验。由于光速传播的速度太快，以当时的实验方法根本行不通，但伽利略的实验揭开了人类历史上对光速进行研究的序幕。

1676年，丹麦天文学家罗麦在天文观测中第一次提出了有效的光速测量方法。惠更斯根据他提出的数据和地球的半径，第一次计算出了光的传播速度：214 000千米/秒。这个数值虽然是错误的，但它启发了惠更斯对波动说的研究，而更重要的是，这个结果的错误不在于方法的错误，只是源于罗麦对光跨越地球时间的错误推测。现代用罗麦的方法经过各种校正后得出的结果是298000千米/秒，很接近于现代实验室所测定的精确数值。

1849年，法国物理学家菲索第一次在地面上设计实验装置来测定光速。他利用转动齿轮的方法，在实验室中测定了光的速度。根据齿轮的转速，菲索测得的光速是315000千米/秒。

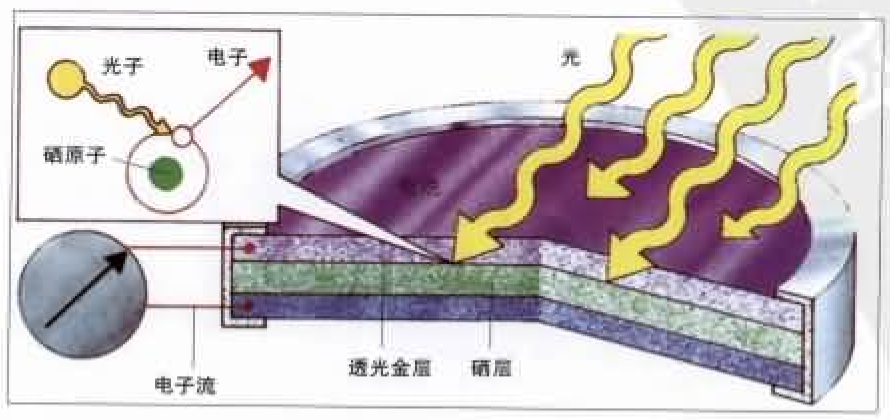
这个数值还不精确，但毕竟是在实验室里测定光速的创举。1850年，法国物理学家傅科改进了菲索的方法，他用旋转镜方法准确测定出光速是298 000 千米/秒。这一数值已经非常接近现代实验室的精确度了。此外，傅科还测出了光在水中的传播速度，通过与光在空气中传播速度的比较，他测出了光由空气中射入水中的折射率。这个实验在微粒说已被波动说推翻之后，又一次对微粒说做出了判决，给光的微粒理论带来了最后的冲击。

从人们设法测量光速到人们测量出较为精确的光速，共经历了300多年时间。在这期间，每一点进步都促进了几何光学和物理光学的发展，尤其是在微粒说与波动说的争论中，光速的测定曾给这一场著名的科学争辩提供了非常重要的依据。



光的色散

复合光通过三棱镜等分光器后，被分解为各种单色光的现象，叫做光的色散。这是由于不同波长的光折射角度不同，其中短波长的光的折射角度较大，所以复合光在进入媒质时，常因折射而出现色散现象。例如，普通的白光实际上是由不同颜色、不同波长的光组成的。当它通过三棱镜时，便变成了七色的彩虹。



光电池

光电池，是由光的照射而产生电流流动的装置。图中是利用半金属元素硒制成的光电池，受光（光子）照射后释放出电子，由电子流动而产生电流。



19世纪天文学的发展

SHIJIUSHIJITIANWENXUEDEFAZHAN

中国：

1809年，徐朝俊著《高厚蒙求》4集，分载天文、地理和仪器等。

1811年，许宗彦在《鉴止水斋集》提及天王星。

1836年，顾观光著成《回回历解》。

1845年，敬徽、周庆余等撰成《仪象考成续编》，这是完全由中国学者编纂的天文学著作。

1851年，太平天国颁行新历法《天历》，这是一种相当粗疏的、被简化的历法。

1897年，王韬以近代天文学的计算方法考订《春秋》日食记录，给出了新编鲁国历谱。

英国：

1800年，赫舍尔首次发现太阳光谱中不可见的红外辐射。

1845年，亚当斯，法国勒维烈根据天王星运动的不规则性，预测到有一个新行星存在。

1850年，威·罗斯发现一些星云具有旋涡结构。

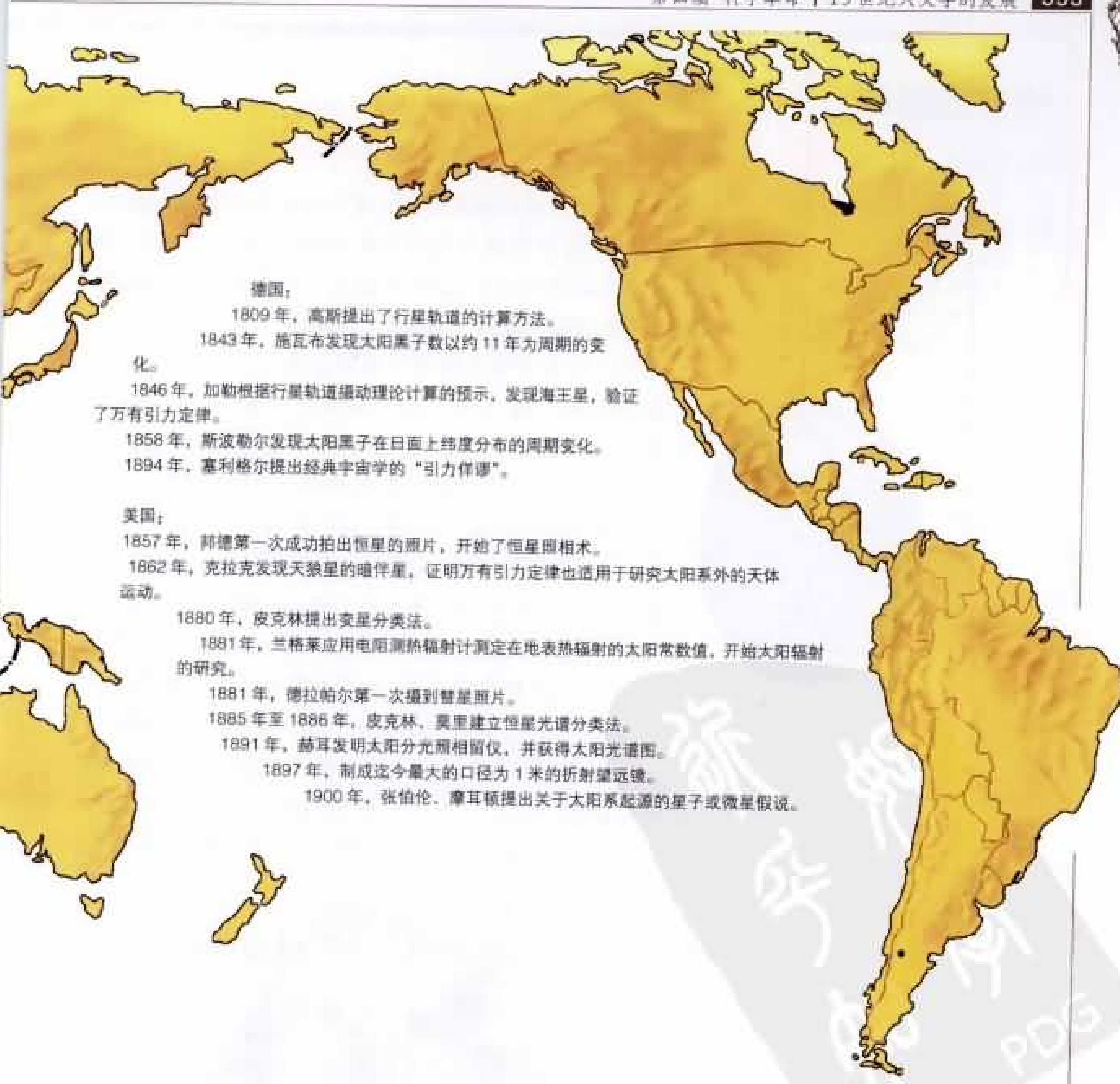
1857年，泡格森建立天体的光度和星等之间的基本关系式。

1865年，哈根斯用光谱分析法，发现一些亮星含有钠、铁、钙、镁、铋等元素。

1868年，洛基尔发现太阳的中层大气——色球层，并发现太阳上的氦元素。

1868年，哈金斯第一次测定恒星的视向速度。

1879年，达尔文建立潮汐摩擦理论，提出月球起源学说。



18世纪到19世纪上半叶是近代天文学大发展的时期。1846年海王星的发现使天体力学获得了空前的荣誉。但是，人类对天体的本质却是惊人的无知。对此，天体力学是无能为力的。就在19世纪中叶，伴随着物理学的发展，天体物理学逐渐萌芽。在当时，它还只是简单地测量天体的亮度和分析天体的光谱。天体物理学的诞生，是现代天文学的起点。与此同时，天体测量学也达到了一个新阶段。



恒星的距离

Episode I

布拉德雷

哥白尼“日心说”预言了周年差的存在，其后的很多科学家致力于寻找地球转动的直观观测证据，而布拉德雷便是其中一位。他是一位牧师兼业余天文学家，担任过格林尼治天文台的第三任台长。

自从哥白尼提出日心地动学说以后，许多人企图观测恒星的周年视差，以此来证明哥白尼学说是否正确。19世纪，几位天文学家测出了恒星周年视差，这不仅建立了测量恒星距离的方法，同时也使哥白尼学说建立在科学的基础上。

虽然人们在应用牛顿和开普勒定律时，可以把行星的运动解释得很完善，但是哥白尼的理论中还有一个困难问题没有得到解决，这就是恒星的周年视差。所谓视差指的是观测者在两个不同位置观看同一天体的方向差，它可以用观测者的两个不同位置的距离（又称基线）在天体处所张的角来表示。周年视差是地球绕太阳周年运动产生的。自从哥白尼提出日心体系以来，许多人试图发现恒星的周年视差，但都没能成功；以致有些人对哥白尼学说的正确性持怀疑态度，这其中就包括大名鼎鼎的天文学家第谷。因此牛顿以后的150年中，有更多的天文学家研究恒星视差，而这种努力到了19世纪上半叶才成功。18世纪英国天文学家布拉德雷（1693—1762年）在观测周年视差的过程中，意外地发现了光行差。光行差的发现无疑很重要，它同周年视差


一样，明确证实了地球的确

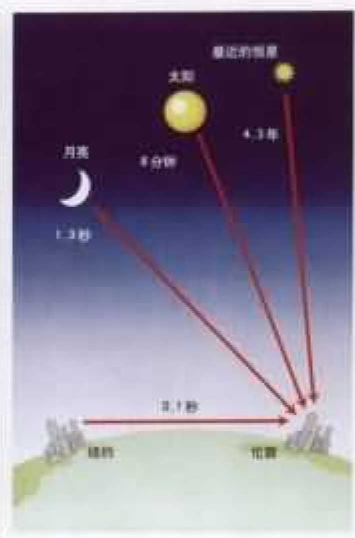

是在绕太阳运转，



第谷的“天堡”天文台

它坐落在丹麦海峡的汶岛上，这里配备有当时最先进的天文仪器，如天球仪、赤道浑仪等。第谷在这里留下了大量极为精确的天文观测资料，为开普勒研究行星运动规律奠定了基础。





宇宙星团

星团是由于物理上的原因聚集在一起并受引力作用束缚的一群恒星，它们中的成员恒星因有共同起源而在物理上相关，并由彼此之间的相互引力而保持在一起。星团按形态和成员星的数量等特征分为疏散星团和球状星团。

光行差

地球表面观测者随地球运动会产生光行差现象，且它的位移与观测者的平均运动速度和光速有关。天文距离的巨大尺度一般用光年表示，它的计算为光速与一年中秒数的乘积。图中表示光从各地到达伦敦所需要的时间。反之，站在伦敦某一地点观察月亮、太阳，随着地球运动就会产生光行差。

而且在实际观测中，人们可以消除光行差位移，从而真正探测到周年视差造成的偏离现象。光行差的观测事实同时还表明，不管恒星自身的运动状态如何，也不管观测者所在的地球的运动状态如何，所有恒星的星光都以同样的速度向观测者飞来。这一规律的本质直到将近二百年后爱因斯坦提出狭义相对论后才被揭示。然而，光行差的精度虽然相当于在10公里远处看一根米尺，但对观测周年视差来说是不够的。

1834年，俄国天文学家斯特鲁维（1793—1864年）用新制的天文望远镜经过三年的周密观察，终于发现织女星有0.25" 的周年视差。与此同时，德国天文学家白塞耳（1798—1844年）发现，天鹅座61号星有0.35" 的视差，英国天文学家亨德森（1798—1844年）观测到半人马座阿尔法星有0.91" 的视差。这些数据跟现在的精确度相比虽然有误差，但依当时的条件而论，成就仍然是巨大的。

测量周年视差的成功，第一次从实验上直接证明了哥白尼所主张的地球环绕太阳运行的"日心说"。因为，如果托勒密的"地心说"是正确的，那么对于任何一颗恒星，无论如何也不会有不为零的周年视差可以测得。在数量众多的恒星的周年视差测得之后，"地心说"才最后地、彻底地为科学界所摒弃。

通过测量周年视差，人们惊奇地发现，即使是距离地球最近的恒星，其距离也相当于地球到太阳距离的272000倍。这样，天文学家们终于在坚实的实验和数学演算的基础上，对恒星间的距离有了可靠的了解。这可以算是天文学发展史上一次真正的飞跃。

1781年，英国天文学家威廉·赫歇耳（1738—1822年）发现天王星，很多人都把望









远镜对准了天王星。不久，它运行的规律就被推算出来，天王星绕着太阳在一个半径不到29亿千米的近乎圆的轨道上运行，速度将近7千米/秒。天王星的轨道半径比地球的大19倍多，运行速度比地球慢，因此在地球上过了84年又9个月，在天王星上才过满1年。

奇怪的事情跟着发生了。1800年以后，天王星的运行速度忽然渐渐加快了，到1830年左右，它的运行速度又比往常慢了。在1800到1810年那10年间，天王星在空间经过的路程，比它在1830到1840年那10年间所经过的要长得多。并且在这些年间，天王星离开了人们给它推算的轨道，离太阳更远了一点儿。这种情形，别的行星也是有的，要是一颗行星跟另一颗行星相接近，它们因为互相吸引会稍稍脱离人们推算的轨道。在正相接近的时候，轨道较小的那颗行星速度会稍稍加快；在正相远离的时候，轨道较小的那颗行星速度会稍稍减慢。这就引起人们思索：是牛顿理论有问题，还是另外有一个天体引力施加在天王星上？

如果是新的行星，那么它一定比天王星更远，也一定比天王星更加暗淡。在茫茫的太空中，如果光靠望远镜盲目地搜寻，可能永远找不到它。因此有人根据天王星的运行速度和轨道的改变，来推算这新行星的位置。推算当然不是一件容易的事，得应用许多复杂的物理和数学的公式。

威廉·赫歇耳

威廉·赫歇耳发现了太阳系的第七颗大行星——天王星，改变了以前人们对太阳系的认识。除发现天王星之外，他还发现了四颗卫星。他一生都从事恒星计数工作，被称为“恒星天文学之父”。

望远镜

威廉·赫歇耳是天文史上制作望远镜最多的人。此为他制作的两架望远镜，前一架长2.1m，口径15cm，天王星就是利用它发现的；后一架镜筒长12.2m，口径达1.5m，利用这架望远镜发现了土星的第一颗卫星——土卫二。

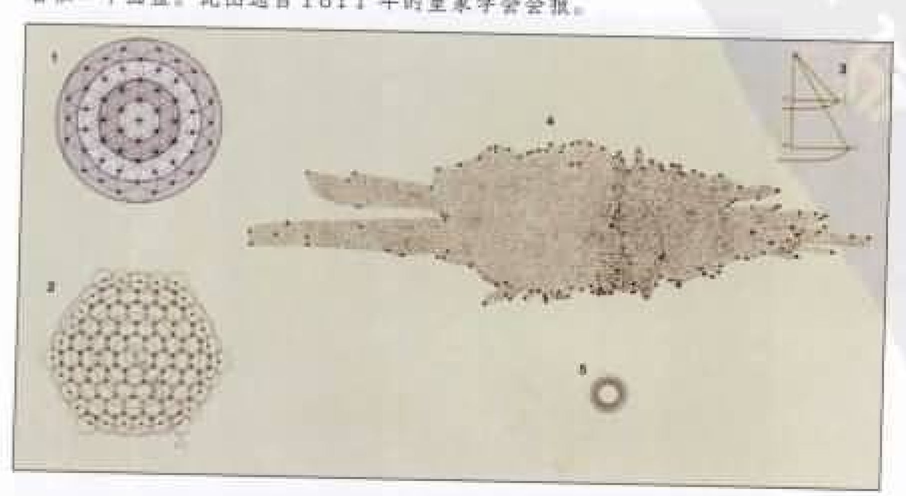
1845年，一位年仅26岁的英国剑桥大学研究生亚当斯（1819—1892年）通过计算研究认为，在天王星轨道外还有一颗大行星，正是这颗未知的大行星的引力，才使理论计算和实际观测的位置不符合，他计算并且预报了这颗未知大行星在天空中的位置。然而，他的预报没有引起有关天文学家的重视。

1846年9月28日，德国柏林天文台伽勒博士接到一封信。信是法国青年数学家勒威耶（1811—1877年）写给他的，请他在夜里把望远镜对正某一方天空。勒威耶预言：在那里将会发现一颗新的行星——太阳系的第八颗大行星。伽勒博士立刻把精密的星图拿了出来，当夜就开始搜索，只经过半小时的观察，他果然在勒威耶指示的那一方天空里，发现了一颗光亮很弱的星；过了24小时再观察，证实这颗星在不断地移动，确实是一颗未曾发现的行星。勒威耶的预言应验了——这颗新的行星，后来命名为海王星。

虽然伽勒博士第一个看到海王星，可是真正的功绩还属于推算的人。因此大家都认为这发现的荣誉，应该属于亚当斯跟勒威耶两位。由于他们的推算，太阳系的半径又向外扩展了16亿千米。根据预言发现的新行星，海王星是第一颗。这是观测天文学中最激动人心的事件，因为它不是观测天文学家偶然发现的，而是数学家“笔尖上的发现”。

威廉·赫歇耳提出的银河系模型

赫歇耳在天文学上的贡献莫过于对银河系结构的研究，他每日都进行单调枯燥的恒星计数工作，共计数了117600颗恒星，依此绘制了第一幅银河系结构图，也是第一个确定了银河系形状大小和星数的人。图为赫歇耳提出的银河系模型，看似一个圆盘。此图选自1811年的皇家学会会报。



天王星

该图像是“旅行者”2号于1986年拍摄的。受其他行星的微小吸引，天王星的运行轨道与理论上的位置稍微不符，由于轨道的变化，它与地球之间的距离也由原来的31.4亿公里变为25.9亿公里，据估计这种趋势会一直延续。科学家指出，未来10年中，随着天王星引力增大，会给地球带来地震的威胁。



光谱分析在天文学中的应用

Episode Ⅱ

基尔霍夫

基尔霍夫从热力学角度对光的辐射和吸收进行了研究，将辐射、吸收、黑体等概念引入物理学，开拓出一个新的学科领域：光谱分析。

天体物理学的最初成就表现在太阳物理上。天文学家一直想知道贯穿太阳光谱的那些暗线的由来和本质。科学家们解决了暗线的问题，是太阳连续光谱被太阳大气里面的蒸汽所吸收而造成的暗线，根据太阳光谱中的暗线位置，就可以确定太阳大气中的化学元素。这意味着望远镜观测发生了一次革命，在这以前，人们只能根据天体的总光亮推导它的亮度、位置和运动，此时人们第一次可以分析天体的光，并由此获得很多信息，首先是它的化学成分。

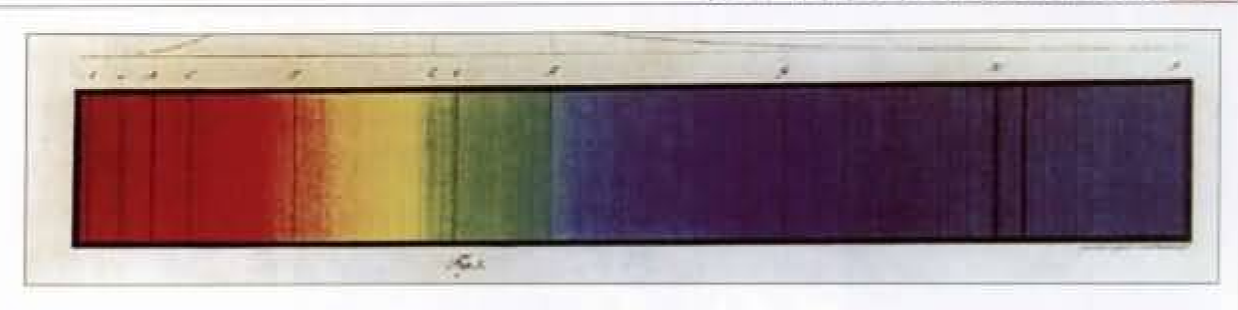
科学家们很快辨认出太阳光谱中很多谱线，宣布太阳里有许多地球上常见的元素，如钠、铁、钙、镍等，证明地球上存在的元素，天上也存在。从此以后太阳光谱的研究有了很大的发展，还发现了落日光谱的暗带，是由于地球中大气气体吸收造成的。科学家们还系



早期拍摄的月球照片

这是19世纪中叶由瓦伦·德·拉·鲁在伦敦市郊的一座天文台用反射望远镜拍摄的。关于对月球光谱的分析，很多人想当然地认为只要对月光进行分析就可得到结果，可是却忘了月球是不发光的，它反射的是太阳光，因此在地球上用分光镜观察月光所得的光谱仍是太阳光谱。





统研究了太阳的各部分光谱，发现黑子的光谱中有比光球更强的吸收线，这表明黑子区域的温度低于光球的温度。科学家们公布了太阳光谱里1000条谱线的波长和详尽的光谱图，记载了太阳光谱里从紫外区到红色区140000条谱线的确切波长和太阳光的强度。

德国物理学家基尔霍夫（1824—1887年）在1861年出版的《太阳光谱论》中证明太阳大气是高温的，因为那里的金属是气体状态的。同时证明光球的温度更高，因为那里发射的光谱以吸收的状态出现。所以太阳的温度是外层低，越向里层越高，太阳黑子是温度较低的区域。1865年，法国天文学家法伊（1814—1902年）发表了太阳的新理论，他认为，整个太阳是一团气体，通过对流的方式由里向外散热。法伊的理论在研究太阳的道路上向前迈进了一大步，开辟了近代太阳理论的途径。

对光谱的分析丰富了对恒星物理特征的了解。1863年，英国天文学家哈金斯（1824—1910年）发现很多亮星有与地球上相同元素的谱线，这说明组成遥远恒星的某些化学元素与地球是相同的。另外，在



太阳光谱

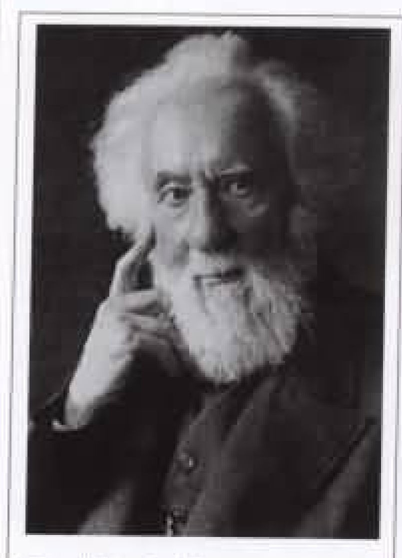
太阳光谱指的是太阳辐射按波长的分布状况，按波长长短可以分为无线电波、红外线、可见光、紫外线和射线等几个波谱区，我们通常说的赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色光属于可见光区。

分光镜视图

光谱的功能犹如人的指纹，每种原子都有自己的特征谱线，可以通过光谱分析来确定物质和它的化学成分。光谱观察的仪器为分光镜，它是由直光管、三棱镜、望远镜组成。

威廉·福克斯·塔尔博特

塔尔博特，先驱摄影师，他解释了化学物质的燃烧为什么可以用棱镜分析。化学物质燃烧时，通过棱镜观察火焰的光谱，就能发现燃料包含的物质，否则要大费周折进行多次化学分析来探测它们的成分。



威廉·哈金斯

威廉·哈金斯，英国天文学家，根据天狼星的红色漂移，计算出这颗星远离地球而去的速度。



克里斯蒂安·多普勒

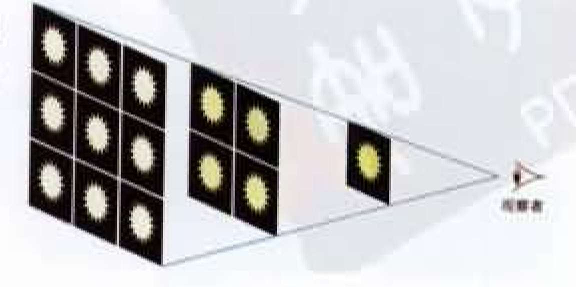
多普勒是奥地利的物理学家和数学家。经过研究，他指出任何以波形传播的固定源，它的频率都会因为相对运动而改变，提出著名的“多普勒效应”。据这一原理，科学家获得了太阳以外若干恒星的质量以及星系的自转速度。

对光谱的研究中，哈金斯得出了恒星的运行速度，这是基于多普勒效应上的天体物理学早期的另一重大成就。

1842年，奥地利物理学家多普勒（1803—1853年）发现了后来被称为多普勒效应的声学现象：当一列鸣着汽笛的火车经过某观察者时，他会发现火车汽笛的声调由高变低。这是因为声调的高低是由声波振动频率的不同决定的，如果频率高，声调听起来就高；反之声调听起来就低。具有波动性的光也会出现这种效应，它又被称为多普勒—斐索效应。因为法国物理学家斐索（1819—1896年）于1848年独立地对来自恒星的波长偏移做了解释，指出了利用这种效应测量恒星相对速度的办法。光波与声波的不同之处在于，光波频率的变化使人感觉到是颜色的变化。如果恒星远离我们而去，则光的谱线就向红光方向移动，称为红移；如果恒星朝向我们运动，光的谱线就向紫光方向移动，称为蓝移。

多普勒—斐索效应使人们对距地球任意远的天体的运动的研究成为可能，这只要分析一下接收到的光的频谱就行了。英国天文学家哈金斯正是用这种办法于1868年测量了天狼星的视向速度（即物体远离我们而去的速度），得出了29千米/秒的速度值。

光谱分析的另一助力来自照相术。1830年，法国人达盖尔发明了第一块达盖尔银版，从而引入了照相术。照相术同样很快就成为天文学上非常宝贵的工具。达盖尔的银版摄影方法虽然不太灵敏，但19世纪40年代，许多天



奥尔博斯谬论

星空中均匀地散布着诸多星系和星星，它们是如此明亮，但夜空为什么是黑的？奥尔博斯认为，空间中必定存在一种尘埃吸收了这些光线。后来天文学家推论出，是来自外层空间星体的光线还没有到达地球的原因。





文学家纷纷利用它来拍摄月球的照片，其中G.P.邦德拍摄的一张月球的照片，1851年在伦敦举办的博览会上引起轰动。天文学家们还对太阳进行了拍摄。1860年，意大利天文学家塞奇首次拍摄了日全食的照片。到1870年，日全食的照片已经证明，日冕与日珥是太阳的一部分，而不是月球的一部分。自19世纪50年代开始，天文学家对遥远的恒星也进行了拍摄。从此，在观测宇宙方面，照相术很快就变得比用肉眼更为重要。

多普勒效应

多普勒效应在声音和光上的表现不同，声音表现为音调的高低，光表现为颜色的变化。图中当光源离观察者远去时，运动的光波会拉成较长的波长；当向着观测者运动时，光波会被挤压成较短的波长。这两种现象称为"红移"和"蓝移"，是宇宙膨胀的证据。

运输机械革命

YUNSHUJIXIEGEMING



中国：

公元前26世纪，太嶂发明车。

约公元前22世纪，先后出现无辐条的辁和各种有辐条的车轮。

约公元前17世纪，两轮车、独木舟和筏等运输工具相继出现。

公元前559年，楚康王以拥有的战船创建了中国最早的水师，水军技术从此出现。

约公元前379年，《考工记》记有车轮的制造工艺。

秦始皇统一中国后，实行“车同轨”。从兵马俑中，可看到当时的战车、辇车等实物。

汉代，有各类舰艇和大量楼船。有些舰船已装备了舵和高效率的推进工具——橹。

东汉和三国时期，蒲元创造特殊的独轮车“木牛”为军队运送粮草。

25年至220年，出现记里鼓车。该车装有一套具有减速作用的传动齿轮，是近代里程表和减速装置的先驱。

三国马钧制造出指南车，该车用齿轮传动外，另有自动离合装置，这说明传动机构齿轮系已发展到相当的程度。

300年至400年，晋代已有指南船，这是航海罗盘的最早发明。

589年，隋将杨素建五牙战舰，起楼五层，高10余丈，左右前后置六拍竿并高5丈，可载战士800人。

南朝，齐朝祖冲之所造日行百里的千里船；南朝梁侯景军中的160桨快艇，都是人力推进的快速舰艇。

明初，郑和下西洋的船队是当时世界上最大的船队。郑和所乘宝船长约137米，张12帆，舵杆长11米多，是古代最大的远洋船舶。



1862年，徐寿、徐建寅父子和华蘅芳制成第一台蒸汽机。

1864年，徐寿等人在南京造出了中国第一艘轮船“黄鹄”号。

英国：

1705年，英国纽可门制成第一个能供实用的蒸汽机。

1768年，英国瓦特制成第一台近代蒸汽机。

1787年，英国默克多发明用蒸汽驱动的无轨火车。

1802年，英国特里维西克造出第一辆真正的蒸汽机车。

1812年，英国第一艘汽船“彗星号”下水。

1814年，英国斯蒂芬逊研制成功第一辆蒸汽机车。

1823年，斯蒂芬逊主持修建第一条商用铁路，将火车推向实用。

1825年，斯蒂芬逊驾驶“旅行号”在铁路上试车。

1830年，斯蒂芬逊驾驶全蒸汽动力机车“火箭号”在从利物浦至曼彻斯特的铁路上试车。

1833年，英国赖特提出单靠燃烧气体的压力推动活塞作功。

1838年，英国商船“天狼星号”完全利用蒸汽动力横渡大西洋成功。

1850年左右，英国格斯纳制成煤油。

1888年，英国邓洛普发明充气轮胎。

美国：

1785年，美国菲奇开始着手将瓦特的双向式蒸汽机装在帆船上。

1786年，美国富尔顿制成第一艘潜水艇“鹦鹉螺号”。

1798年，美国富尔顿制成汽船。

1807年，美国富尔顿制成采用明轮推进系统的汽船“克莱蒙特号”。

1819年，美国的半蒸汽帆船“萨凡纳号”横渡大西洋成功。

1828年，美国修建了国内的第一条铁路。

1859年，美国德莱克在宾夕法尼亚州打出世界上第一口油井。

1892年，美国福特研制出美国第一辆汽车。

1908年，美国福特创制T型汽车，使汽车开始成为人类交通的常用工具。

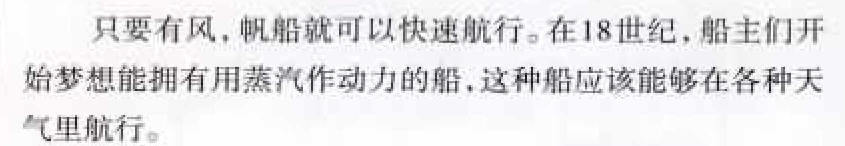
18世纪中叶，在英国发起的第一次工业革命，诞生了瓦特的蒸汽动力机，这种机器一出现，马上使世界的工业格局和发展速度发生了翻天覆地的变化。使用蒸汽机之后，纺织品、煤炭、钢铁产量成倍甚至成十倍地增长。市场商品的激增，社会经济生活的极大活跃，向交通运输业的发展提出了迫切的要求。也正是蒸汽动力的运用，使运输机械发生了重大的变革，将文明社会推向一个热火朝天的新世界。

"富尔顿的蠢物"

Episode Ⅰ

船 帆

帆是船舶的推动工具，依靠风力推进船只行驶，是古代劳动人民的重大创造发明。



只要有风，帆船就可以快速航行。在18世纪，船主们开始梦想能拥有用蒸汽作动力的船，这种船应该能够在各种天气里航行。

第一个将蒸汽动力用于船运的是美国工程师约翰·菲奇（1743—1798年）。菲奇没有受过学校教育，曾当过钟表匠和测量员，在各地流浪。后来，他费尽心血，于1787年建成了一艘独木舟式的靠划水前进的船只。这艘船的两侧前后各装有三只一组的长桨，用蒸汽机使它交替划动。

菲奇经过反复改良，建造了新的大型汽船。1790年，这艘船的速度平均每小时12公里，往返于费城和巴林顿之间，载运了相当多的乘客。但是，这条定期航线后来因出现很大的赤字而停航，投资者对汽船的前景感到绝望，撤回了资金。菲奇在贫困中虽然仍在继续研究，但无成果，最后服安眠药自杀。

真正产生重大影响，并最终使蒸汽动力用于水运的是美国另一位工程师富尔顿（1765—1815年）。富尔顿生于宾夕



"快 马"

高速帆船俗称"快马"（如图），它出现在19世纪，多用于贸易。其船体呈流线型，船上装有多面船帆。

三列桨战船

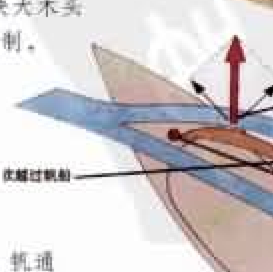
这是希腊人约在公元前650年发明的三列桨战船示意图。它的船帆和多层划桨，为船的快速前行提供动力。罗马人也制造同样的船，用于战争和贸易。

皮 筏

最早期的船是独木舟（即把一块大木头的中间挖空）和皮筏（用动物皮缝制，如右图所示），加上橹或桨。

帆 船

帆船本身没有动力，靠风力鼓动船帆航行。因此，相对船身而言，帆通常做得很宽大，从而能充分利用风力。风吹船帆产生一股力，推动船朝着与风向成直角的方向前进。



法尼亚州的兰斯卡特，幼年丧父，9岁入学读书。14岁时，他跟一位枪匠学得气枪的制造技术。17岁时，他离家来到费城，一面学习绘画，一面在一家机器工厂做机械制图工作。22岁时，他来到英国伦敦，通过绘画艺术结识了著名的蒸汽机发明家瓦特等人。

富尔顿一生中主要的贡献是制造轮船。在富尔顿以前，有人试制过蒸汽动力船，但没有成功。1793年，富尔顿来到巴黎，从模型试验到设计制造，前后经过9年的艰苦努力，终于在1803年造成了第一艘轮船，不料在塞纳河试航时，竟被狂风暴雨所摧毁。

富尔顿并没有因失败而灰心丧气，为解决一系列技术问题，诸如船的吨位同动力大小的比例问题、船身的长度和宽度的比例问题，以及桨轮的大小问题，富尔顿进行了无数次的实验。每次实验他都详细记录了各种数据，然后制成表格进行比较。富尔顿发现，蒸汽机的动力不足是影响轮船航行速度的重要原因。他写信给瓦特等人，要求他们供给一部分蒸汽机的部件和设备，如17.6千瓦的汽缸、活塞和活塞杆、阀门、空气唧筒以及凝结器等，其他零件全部由自己加工制造。1805年3月，富尔顿终于造出了适合轮船用的蒸汽机。

不久，富尔顿回到了美国。两年之后，他又新造了一艘长约46米，宽约4米，吃水约0.6米，首尾都成60°角的轮船，并装上自己制造的蒸汽机。这条轮船被命名为“克莱孟特号”。“克莱孟特号”招来了一些人的讽刺和挖苦。很多人都把“克莱孟特号”谑称为“富尔顿的蠢物”。

1807年8月9日，“克莱孟特号”作了第一次试航。试航结果，速度仍然很慢，每小时只有1.6公里左右。富尔顿作了改进，他把原先宽约20厘米，半径约90厘米的桨轮换上大桨轮，使航速提高到了每小时4. 8公里。富尔顿仍不满足，再次改进了凝结器冷却水泵，速

世界上第一艘汽船

这是富尔顿发明的第一艘汽船“克莱孟特号”的模型，这艘船的主体部分由铁板建造，动力为瓦特蒸汽机，以螺旋桨为推进器。它的出现及改进使世界变得越来越小，横渡大西洋的时间逐渐由72天减少到了15天。







船的制造

船的制造发展到19世纪，造船的材料从木材变成了金属，机械动力也取代了风帆。现代的船一般用钢板焊接而成。造船工人分别制成船的各部分，然后在船坞组合。

货　轮

船舶随着社会的进步不断发展，其种类各有不同，如载客用的客轮和装运货物的货轮。图中是货轮的结构图，每年都有大批装载着大量货物的货轮，在世界各大海洋上行驶。

度又提高到了每小时6.4公里，“克莱孟特号”船终于达到了实用的标准。

1807年8月17日是人类航海史上一个具有重大历史意义的日子。“克莱孟特号”轮船将在哈得逊河上作第一次远洋航行。这天上午，哈得逊河两岸挤满了来看热闹的人们。几十位客人登上了轮船，成为“克莱孟特号”的第一批乘客。

10时整，轮船启航了。富尔顿驾驶亲自设计和制造的“克莱孟特号”轮船，从纽约出发，向阿尔巴尼城驶去。轮船机房里机声大作，烟囱冒出了滚滚浓烟，浪花飞溅，轮船劈波斩浪前进。第二天傍晚，“克莱孟特号”顺利抵达阿尔巴尼城，胜利完成了首次远途航行。“富尔顿的蠢物”终于成功了！

首次试航成功后，从纽约到阿尔巴尼城的定期航线就固定下来了。“克莱孟特号”只用了32小时就完成了航行；而在以前，旅客们乘坐布帆船即使赶上顺风，也得花48个小时。“克莱孟特号”把航程所花的时间缩短了16个小时，这在当时是一个飞跃。

1815年2月23日，富尔顿逝世。他在一生中，不仅发明制造了轮船，而且亲自参加制造了17艘，在人类水运史上揭开了新的一页。



铁路与火车

Episode Ⅱ

因为在铁轨上摩擦力很小，1个妇女或男孩就能拉走1辆载重近1吨的货车，1匹马则能干22匹马在普通公路上所干的活，所以早在火车出现之前，人们就铺设铁轨来运输了。在19世纪初，瓦特的蒸汽机已问世20多年，很多人都在尝试让它成为各种机器的动力。1804年，一个名叫理查德·特里维西克（1771—1833年）的英国人终于造出了第一台在轨道上行驶的铁路蒸汽机车，锅炉蒸汽压力为0.294兆帕（3.0kg/cm^2），锅炉内装有一个平放的汽缸。机车有两对动轮，由齿轮传动，轴列式为0–2–0。机车装有一个大飞轮，借助于它的旋转惯性动力，保持汽缸活塞的往复运动。机车重4.5t，时速8km，能牵引10t货物、5节车，可乘70名旅客。如同所有具有伟大开创性质的发明家一样，特里维西克的机车面临一大堆难题

理查德·特里维西克

英国人理查德·特里维西克，靠自学掌握了工程学知识。特里维西克最初是研究瓦特的发动机，他是最早对高压发动机感兴趣的人，并设计制造出最早在轨道上行驶的机车。

“火箭”号机车

在19世纪，用蒸汽动力取代马匹用于运输车辆，已经成为人们的一种渴望。图中是史蒂文森设计制造的蒸汽机车“火箭”号。

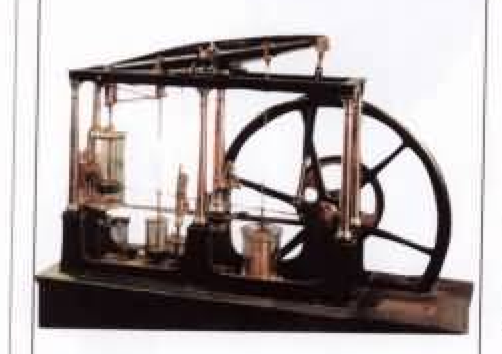






特里维西克制造的蒸汽火车头

英国的特里维西克是第一个将蒸汽动力车辆放置在轨道上行驶的工程师。在19世纪初，蒸汽机的广泛使用导致对煤的需求剧增，1804年特里维西克为运煤车设计了世界上第一辆火车头。



早期的蒸汽泵

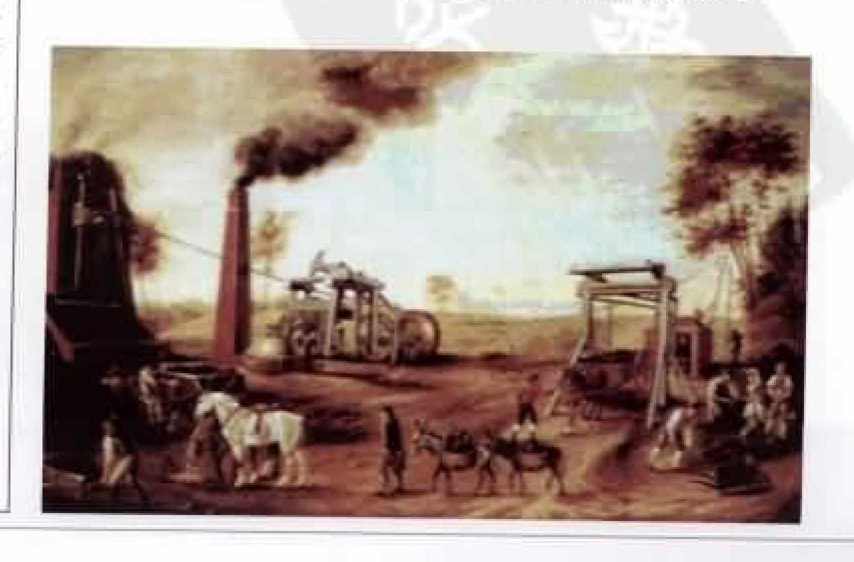
早期蒸汽动力技术的发展，不仅极大推动了技术本身的发展，而且对整个科学的发展产生了深远的历史影响。蒸汽泵这种最初的蒸汽运动机械，主要是一种实验科学的产物。这种机械实际上只是把动力装置和排水装置结合在一起。

蒸汽时代的到来

从早期的蒸汽泵到瓦特制作的蒸汽机，伴随着蒸汽发出的鸣叫声，蒸汽动力技术所展示出的巨大魅力，为人类奏响了技术革命的乐章。

动力不足、车轴易断裂、铁轨易撕裂、震动太大等等。但这一实践证实了两个重要现象：光滑的铁的机车驱动轮可在光滑的铁轨上运行而不会空转；机车可以拖动比机车本身重得多的东西。

1814年，另一个也一直在跟轨道和蒸汽机较劲的英国人史蒂文森（1781—1848年）造了一辆能牵引30吨货物并且可以爬坡的火车，并在后来与同行的竞争中最终赢得了“火车之父”的桂冠。“火箭”号机车采用卧式多烟管锅炉，传热面积大，生成蒸汽快，锅胴与火箱拼接在一起，锅炉蒸汽压力为0.345兆帕（$3.5kg/cm^2$）；有两个与水平线成35°角斜装于锅炉两后侧的汽缸；有一对装于机车前部的动轮，动轮车轴左右各装一曲拐，互成直角，使机车动轮曲拐停在任何位置均能起动，轴列式为0-1-1。蒸汽从烟筒喷出，以诱导通风，促进燃烧。“火箭”号重4t，能牵引装载重量三倍于机车自重的车厢。这是第一辆初具现代蒸汽机车基本构造特征的蒸汽机车。从那时起，人们开始意识到，火车是一种很有前途的交通运输工具。此后一段时间中，火车加入了运输行列，但马车仍在铁路上行驶。当然，马车业主们是极力反对火车的，因为这种“铁马”很可能会抢了他们的饭碗。



1821年，英国计划从斯特克顿到达林顿之间铺设铁轨，以加速煤矿的开发。但是铺设铁轨却是准备让马匹牵引车辆使用。史蒂文森到达林顿见到了该计划的发起人皮斯，向他宣传蒸汽机车的优越性。皮斯被说动了，委托他制造一台机车。

1825年9月，从斯特克顿到达林顿的铁路铺设成功了。史蒂文森驾驶着他改进的一台新蒸汽机车——“旅行者”号拉着30多节车厢，运载450名乘客，以38千米/秒左右的速度胜利地从达林顿驶到了斯特克顿。铁路运输业就此开始了。

史蒂文森正式开办了往返达林顿与斯特克顿之间的火车客货运营业务。与此同时，他又负责建造从利物浦到曼彻斯特的铁路。史蒂文森设想在这条新建的铁路上，奔驰着速度更快的机车，使火车运输达到快速实用的目的。他和他儿子着手对机车作进一步的改进。

1829年10月，利物浦到曼彻斯特的铁路竣工。为了显示蒸汽机车的优越性，决定在这条新修的铁路上举行一场别开生面的蒸汽机车比赛。比赛在利物浦附近的莱因西尔进行，共有5辆蒸汽机车参赛。比赛开始了，一台机车行驶没多远，蒸汽锅炉就出现了裂缝，不得不停了下来。另一台机车行驶了约44km后，汽缸破损，只得退出比赛。

瓦特

社会生产发展的需要是蒸汽机得以发明的催化剂，而自然科学的成就是发明蒸汽机的理论基础，相关的生产技术的进步则是蒸汽机得以发明的技术积淀。蒸汽机发明者瓦特的名字和蒸汽机一起传遍了全世界。

地铁

蒸汽机车在取得蓬勃发展的同时，也面临着许多问题。机车喷出的滚滚浓烟不仅污染城市，而且使得城市里的各种交通工具出现混乱，拥挤不堪，机车无法运行。对此，有人提出：建设高架铁路或地下铁路。1836年，第一个地下铁路系统在伦敦启用。在人口稠密的城市中，地铁成为最便捷的交通工具。

对蒸汽时代的幻想

蒸汽机的出现，第一次解决了人类大规模制造和利用动力的问题。从图中我们可以看出，18世纪的人们对瓦特设计出的蒸汽机充满了无限美好的憧憬。







史蒂文森

英国铁路机车的主要发明家。他一生努力研究蒸汽机车，并进一步改进了铁路技术，在发明铁路火车方面有着不可磨灭的贡献。

只有史蒂文森父子制造的机车牵引着17t的货物，以平均时速22km，最高时速58km左右的速度顺利跑完了全程。利物浦—曼彻斯特铁路因此成为世界上第一条完全靠蒸汽机运输的铁路线。

从此之后，蒸汽机车因构造简单、造价低廉、快速实用、安全可靠迅速在英国、欧洲大陆和北美得到广泛使用，开始了持续100多年独霸铁路牵引动力垄断地位的黄金时代，史蒂文森的名字与他发明的划时代的运输工具——蒸汽机车一起载入了科技史册。在隆隆的火车声中，第一次工业革命宣告胜利完成。

蒸汽机车

蒸汽机车是利用蒸汽机，把燃料（一般用煤）的热能变成机械能，而使机车运行的一种火车机车。它的出现是世界工业技术革命的里程碑，但随着时代的发展，蒸汽机车再也不是运输行业的主角，而被内燃机车、电力机车取代。如图所展示的这些蒸汽火车，都已经退出了历史的舞台。





火车铁路

真正的铁路出现于19世纪初，当时蒸汽火车开始在铁轨上行驶。1825年英国出现了世界上第一条铁路。30年代后，庞大的铁路网已遍及欧洲和北美洲。图中是一列停靠在利物浦至曼彻斯特的铁路上加水的蒸汽机车，该铁路于1830年开通。

动力机新革命

Episode Ⅲ

通过对热力学和热学的研究，人们提高了蒸汽机的效率，但是蒸汽机本身有难以克服的缺点。由于蒸汽机的锅炉需承受重压，必须用结实的材料制造，使蒸汽机很笨重；蒸汽机操纵复杂，锅炉的燃烧需有经验的人专门看管；蒸汽机启动慢，不能随意停止；蒸汽机锅炉容易爆炸，危险性大。更大的缺点是蒸汽机的热效率低，一般只有5%至8%，最好的也不超过10%至13%。由于蒸汽机的锅炉和汽缸是分离的，锅炉在外面燃烧，把燃料的热能传给蒸汽机后再转化为机械功，这种外部燃烧的热损失较大，因此蒸汽机的效率难以提高。

在蒸汽机发展的同时，有人开始研究把外燃改为内燃，也就是不用蒸汽做工作介质，利用燃烧后的烟气直接推动活塞运动，把锅炉和汽缸合并起来，这就是内燃机。

1794年，英国工程师斯垂特在研究瓦特蒸汽机的基础上，制造了一台笨拙的内燃机。这台机器需要用人力把空气压入汽缸，然后喷入液体燃料松节油或板油，再点火。

瓦特的双向作用旋转梁发动机

发动机经历了外燃机和内燃机两个发展阶段。瓦特发明的蒸汽机就是一种典型的外燃机。所谓外燃机，就是说它的燃料在发动机的外部燃烧，发动机再将这种燃烧产生的热能转化成动能。图中是瓦特设计的双向作用旋转梁发动机，大约在1800年出现。

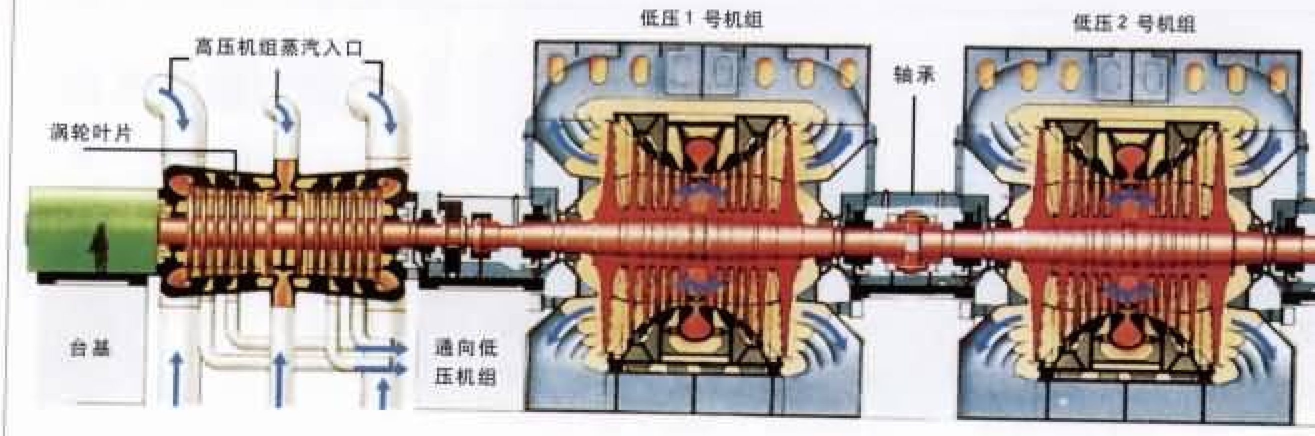
发动机的运用

发动机，又称为引擎。随着科技的进步，人们不断地研制出不同用途多种类型的发动机。但是，不管哪种发动机，它的基本前提都是要以某种燃料燃烧来产生动力。它被广泛地运用于交通与工业之中。













蒸汽轮机

蒸汽轮机的工作原理，简单来说就是蒸汽喷射到蒸汽轮机的叶片上，推动叶片转动，从而使轮机转动起来。过热蒸汽从蒸汽轮机内的喷嘴喷出时，体积急剧膨胀，压强降低，速度增大，通过这一过程，蒸汽的内能转变为蒸汽的动能；蒸汽喷射到叶片上时，推动叶片转动，蒸汽的动能就又转化为机轴旋转的机械能。

早期的发动机

发动机最早诞生在英国，所以，发动机概念也源于英语，它的本义是指那种"产生动力的机械装置"。图中由上到下分别是1712年的纽克曼发动机、18世纪80年代的瓦特发动机，以及1883年的戴姆勒发动机。





1799年，法国工程师蓝蓬提出了以煤气作为燃料，用电火花来点火的内燃机设计方案。

其后，英国工程师赖特设计爆发式内燃机，意大利工程师巴尔桑第研制自由活塞式内燃机等等。

到1860年，法国工程师雷诺（1822—1900年）终于制成第一台实用的爆发式内燃机。这是一台单缸双动发动机，以煤气为燃料，活塞在它的前半冲程吸入煤气和空气的混合气，接着用电火花点燃，于是膨胀气体推动活塞完成后半个冲程。汽缸的另半部进行同样的过程，将活塞推回。这台内燃机的热效率只有4%，电火花点火也不可靠，但它第一次成为带动其他机械的动力机。欧美报刊纷纷介绍，加快了内燃机的发展步伐。



雷诺内燃机的使用，使人们开始探索内燃机理论。卡诺在研究热力学时曾涉及到内燃机的基本原理，提出了压缩点火的可能性。







1862年，法国工程师德罗夏发表了内燃机理论，阐述了取得最高效率和最佳经济性能所需要的条件。他明确指出，要制造性能好的内燃机，必须使气体尽快膨胀到最大，并尽量提高膨胀的初始压力，如不能很好地满足这些要求，就会浪费大量气体。

德罗夏提出了实现这些要求的具体步骤，就是把活塞运动分为四个冲程：吸收冲程——活塞下移，汽缸形成真空，并吸入油气燃料；压缩冲程——活塞上移，压缩进入汽缸的油气；爆发冲程——当活塞升到顶端时，电火花引爆油气，气体迅速燃烧膨胀，活塞下移带动传动机做功；排气冲程——活塞再次上升时，把燃尽的气体排出汽缸，回到第一冲程开始前的状态。

这种发动机就是四冲程内燃机，在当时是不浪费气体的最好的内燃机，以后的内燃机大多利用这个原理。

德罗夏提出四个冲程，只对内燃机理论作出了贡献，并没有实际制造出内燃机。他的理论发表在法国的一家地方刊物上，并没有引起人们的重视。

当时，德国的奥古斯特·奥托（1832—1891年）也想发明比蒸汽机性能更好的内燃机，煞费苦心地进行设计和研制，但进展不大。一个偶然的机会，他发现了德罗夏的论文，觉得很有道理，便按德罗夏的理论进行研制。

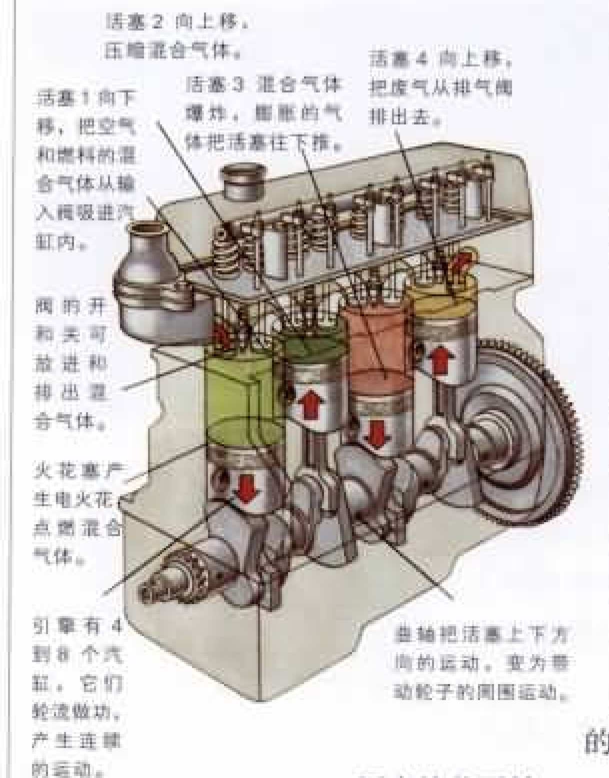
1876年，奥托成功地制造出第一台四冲程内燃机，并

发电机

科学和技术的结合使社会发生革命性的进步，并重塑了人们的生活方式。在19世纪，许多新的机器得以发明，这些机器成了人们赖以理解自然力和联想出科学定律的模型，人们再进而利用这些定律设计出更为精良的机器。图中是19世纪末在柏林的一台发电机。

小型飞机

在19世纪中叶，大批工程技术人员在热力学理论的指导下，开始了内燃机的研制。而从内燃机问世以来，经过不断改进和发展，如今它已经是比较完善的机械。全世界各种类型的汽车、拖拉机、农业机械、工程机械、小型移动电站和战车等都以内燃机为动力。海上商船、内河船舶和常规舰艇，以及某些小型飞机也都由内燃机来推进，其保有量在世界动力机械中居于首位。



四冲程引擎

所谓的四冲程即发动机的进气、压缩、做功、排气四个过程，是在曲轴旋转两周，活塞运行四个冲程完成一个工作循环。现在大多数的汽车都用四冲程引擎，就是说每一个活塞在一个循环中有四个动作。

蒸汽机车剖面图

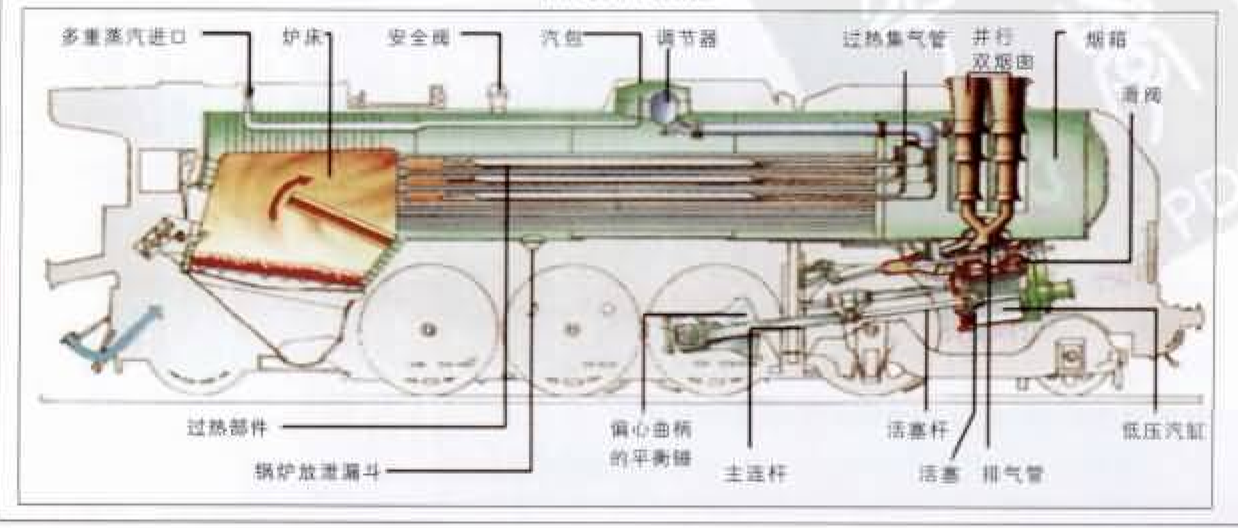
蒸汽机车主要由锅炉、蒸汽机、车架走行部和煤水车四大部分组成。其中锅炉又包括炉床、汽缸体、烟箱三部分，如图所示。炉床受火箱制约，并常常因燃烧室而延续；汽缸体带有管束，气体在其中循环；烟箱通过排放来自汽缸的膨胀蒸汽，使气体通风。

取得了专利权，因此通常把内燃机的发明归功于他。奥托内燃机体积小、重量轻、消耗的煤气少，功率也比较大，在1878年巴黎万国博览会上展出，受到极高的评价。自此，越来越多的工厂采用这种发动机来代替蒸汽机。内燃机的历史从此开始。

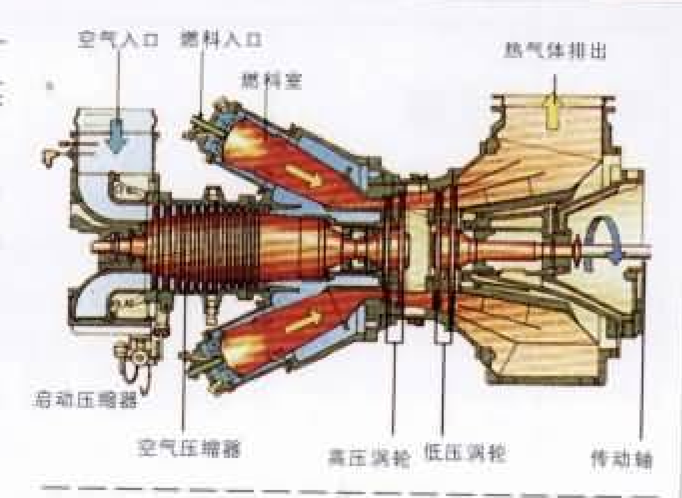
但是奥托煤气内燃机有许多不便之处，不能作为船舶、车辆等运输机械的动力。

1859年，美国宾夕法尼亚州打出了世界上第一口油井。此后，石油产量不断提高，汽油、煤油、柴油逐渐成为广泛应用的新燃料。

蒸汽机车剖面图



1883年德国工程师戴姆勒(1834—1900年)完成了汽油内燃机，1885年英国的普雷斯特曼研制出煤油内燃机，1892年德国人狄塞尔制造了第一台自动点火的柴油内燃机。狄塞尔的这种机器由于增加了压缩过程，使热效率进一步提高，达到27%至32%。从此，柴油机这种马力大、重量轻、效率高的新式动力机逐渐取代了蒸汽机，成为工业上的主要动力机。

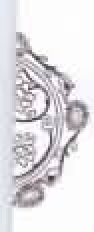


燃气轮机

燃气轮机是一种使用混合燃气异质条件调节和连续燃烧的发动机。它由燃烧室、压气机、轮机装置组成。图中所示是它的工作原理。压气机将空气压缩后送入燃烧室，再跟燃料混合后燃烧，产生大量的高温高压气体，高温高压燃气被送入封闭的轮机装置内膨胀，推动叶片使机轴转动。燃气轮机被用在飞机、火车和高速游轮上。

随着内燃机重量、马力的下降，人类的飞天梦想开始成真。1903年，美国工程师莱特兄弟以一台8马力的汽油内燃机为引擎，制造了一架飞机，并成功在天上停留了59秒，飞行260米。飞机使人类进入航空运输时代。

内燃机的发明，推动了动力机的一次新革命。内燃机不仅效率高，而且种类多，用途广泛，它推动了交通运输业革命，使汽车和飞机制造业迅速发展起来，引起了农业生产的机械化变革。



汽车的发展

Episode Ⅳ

米绍的自行车

1861年，法国制造者米绍和他的儿子恩斯特发明了前轮驱动的自行车。他们在德莱斯式自行车（带车把的木制两轮自行车，这种自行车需用脚蹬地才能前行）的前轮轴上直接加上踏板，靠着这台自行车可以骑遍整个欧洲。

本茨的汽车

车的历史由来已久，但汽车的历史却是从19世纪末刚刚开始。德国人本茨在1886年，将一台自己研制的内燃机安装到一辆三轮车上，产生了第一台“汽车”，因此后人称他为“汽车之父”。图中为本茨汽车的几次改进，图一中的轮胎为木质实心的，外形上也没有摆脱四轮马车的痕迹。图二中轮胎已改用了充气的橡胶轮胎，图三中的汽车发展已相当成熟，具有了现代汽车的雏形。

车的历史是悠久的。在中国，传说车是黄帝发明的。《古文史考》记载：“黄帝常作车，引重致远；少昊代加牛；禹时奚中加马。”在欧洲，生活于15世纪的达·芬奇设想了一种用发条作动力的自行车，并留下了图纸。1649年，德国钟表匠赫丘按照达·芬奇留下的设计图纸，试制出了世界上第一辆真正的自行车，它像摆钟一样，以发条为动力，时速只有1.5km。赫丘的成果，引起了法国军事当局的密切关注。他们看到，如果能够制出一种高速自行车代替马匹牵引火炮，可以大大增加炮兵的机动性能，于是他们当即命令陆军炮兵大尉丘尼约进行研制。丘尼约于1771年制成了一辆以蒸汽机为动力的自行车。丘尼约的蒸汽自行车长7.2m，宽2.3m，是一种木质结构的三轮车，时速9.5km，可同时乘坐4人。这是人类第一次把蒸汽机用到车上，从此公路运输革命蓬勃发展起来。

虽然人们看到蒸汽机的使用在驯服自然力中



图一



图二

图三

取得了巨大的成就，但它的效率还很低。这是因为它是外燃机，即锅炉与汽缸分离，燃料在汽缸外燃烧，然后再将产生的蒸汽导入汽缸做功。若不在蒸汽机内部点火燃烧，蒸汽机的效率就无法大幅提高。因此，人们又在进行把锅炉和汽缸合二为一的内燃机的研制。1794年，有人进行了内燃试验；1823年，英国发明家勃朗试制成功了一台内燃引擎蒸汽机；1862年，法国科学家德罗夏奠定了内燃机理论，提出实现内燃必须保证点火前高压，燃气迅速膨胀，达到最大膨胀比等，还提出了实现内燃机活塞的具体步骤。1854年，德国工程师奥托开始研制内燃机，但屡次失败。1876年，他偶然看到刊物上登载法国工程师德罗夏的四冲程理论，受到很大启发，决心以此理论为基础重新研制。年底他就造出了一台新的以四冲程理论为依据的煤气内燃机。他第一次发现，利用飞轮的惯性可以使四冲程实现自动循环往复，这就成功地将德罗夏的四冲程理论付诸实践。这台内燃机的热效率提高了14%。内燃机作为汽车的心脏，它的出现，无疑为制造出汽车提供了可能。奥托吸收了前人大量的理论和实践经验，把德罗夏的理论变成了现实，制成了以汽油为燃料的四冲程常规活塞内燃机，从而赢得了内燃机发明人的赞誉。这种发动机具有进气、压缩、做功、排气四个行程，为了纪念奥托的发明，人们把这种循环称为奥托循环。



卡尔·本茨

卡尔·本茨出身于一个火车司机家庭。这位德国工程师1878年开始研究新型内燃机，1879年首次研制成功火花塞点火内燃机。1882年开始尝试把发动机安装在三轮车上，1885年他的三轮车试制成功，并于1886年1月29日获得专利。

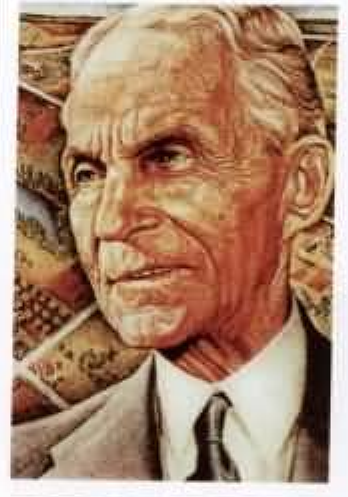
奥托继续进行实验和研究，使内燃机的性能更趋稳定和完美。到1880年，机器功率已由原来的4马力提高到20马力。内燃机出现之后，德国发明家戴姆勒敏感地看到了制造新型自



世界上第一辆三轮汽车

汽车的诞生无疑具有划时代的意义，它不仅改变了人类传统的“行”的方式，更开启了个人交通运输的新纪元。1886年1月29日，德国工程师卡尔·本茨为其机动车申请了专利。同年10月，卡尔·本茨的三轮机动车获得了德意志专利权（专利号：37435a）。图中就是这辆被公认为“世界上第一辆汽车”的三轮机动车。





亨利·福特

亨利·福特留给世人的不仅仅是"福特"汽车这个品牌，他还代表着一种执著的、永不言弃的创业精神。他所创建的福特汽车公司是世界最大的汽车企业之一，它生产的T型车销售超过1500万辆，至今仍然保持世界纪录。福特也因此被誉为"给世界装上车轮子的人"，先后受到三位总统的赞誉，并被著名的《财富》杂志评为"20世纪最伟大的企业家"。

行车辆的可能，开始了改造喷烟吐雾的蒸汽自行车辆的研究。但要把初生的内燃机用于自行车辆，必须首先解决其小型化问题。对引擎颇有研究的戴姆勒，经过四年探索制成了小型引擎，并于1883年用小型引擎制成了小型高效汽油内燃机。1885年8月，他把内燃机装在了两轮车上，制成了世界上第一辆摩托车。戴姆勒的内燃机由于改用汽油燃料而实现了内燃机的小型化和高速化，将发动机转速从过去煤气机的每分钟200转提高到了900转左右。这样，改进后的内燃机被迅速运用于交通运输，引发了汽车工业的崛起。

19世纪中叶，燃烧汽油的内燃机制造成功，许多人设法把它装在马车上，取代马力来驱动车辆，成为"无马的马车"。德国的本茨和戴姆勒于1886年首先研制成功。其后英、法、美等国也相继出现，一时形成创造发明的热潮。本茨因此被誉为"汽车之父"。

1879年，德国工程师卡尔·本茨，首次试验成功一台二冲程试验性发动机。1883年10月，他创立了"本茨公司和莱茵煤气发动机厂"。1885年，他在曼海姆制成了第一辆本茨专利机动车，该车为三轮汽车，采用一台两冲程单缸0.9马力的汽油机，此车具备了现代汽车的一些基本特点，如火花点火、水冷循环、钢管车架、钢板弹簧悬架、后轮驱动前轮转向和制动手把等。与此同时，在1883年就与威廉·迈巴特合作制成了第一台高速汽油试验性发动机的德国人戴姆勒又在迈巴特的协助下，于1896年在巴特坎施塔特制成了世界上第一辆



福特A型车

1903年到1908年之间，亨利·福特和他的工程师们研制了19款不同的汽车，并按字母顺序将它命名为A型车到S型车，其中有一些只是试验性车型，从未向公众推出。这些汽车最终成了T型车的技术基础。图中是1903年推出的福特A型车。









"无马之车"。该车是在买来的一辆四轮"美国马车"上装用他们制造的功率为1.1马力、转速为每分钟650转的发动机，该车以18km的当时所谓"令人窒息"的时速从斯图加特驶向康斯塔特，世界上第一辆汽油发动机驱动的四轮汽车就此诞生了。但本茨的汽车还不具备今天汽车的全形。比如，他的车轮仍然是木料做的，仅按传统制造法在周围包了一圈金属，这就大大限制了车速的大幅度提高。早在1845年，英国工程师汤姆森想出了在轮子周围套上合适橡胶管的好主意，但直到1895年，人们才成功地把轮胎装在了汽车上，使之具备了现代汽车的基本外形。

由于上述原因，人们一般都把1886年作为汽车元年，也有些学者把卡尔·本茨制成第一辆三轮汽车的1885年视为汽车诞生年。本茨和戴姆勒则被尊为汽车工业的鼻祖。

世界汽车工业最先形成于美国，亨利·福特是美国汽车工业化的先驱者，他于1883年开始从事汽车制造业。1903年他创立了福特汽车公司，积极研制结构简单实用、性能完善而售价低廉的普及型轿车。1908年10月正式投产T型汽车。该车排气量2 892mL，25马力，使用四缸四冲程汽油机。1913年又创建了世界上第一条汽车装配生产流水线，并实行了工业大生产管理方式，产品系列化，零部件标准化，1914年福特汽车年产量达到30万辆，1926年达到200万辆。而每辆汽车售价，由首批850美元，下降到1923年的265美元。由于福特不仅完

福特生产的第一辆四轮驱动汽车

亨利·福特为世界汽车工业的发展作出了卓越贡献，他是汽车工业发展的奠基人，是福特汽车工业的创始人。正是因为其"造适合大众的汽车"的造车理念，并通过其不懈的追求和努力实践，才使汽车这种奢侈品逐渐步入大众的生活，变成能够为普通大众服务的交通工具。图为福特坐在自己生产的第一辆四轮驱动汽车上。

第一辆福特T型车诞生

1908年，由亨利·福特创建的福特汽车公司，生产出世界上第一辆属于普通百姓的汽车——T型车。由于该车价格低廉、使用方便、维护容易，销售异常火暴。T型车既使福特获得了巨大的成功，也成为了普通民众的交通工具，改变了人们的生活方式、思维方式和娱乐方式，世界汽车工业革命就此开始。

戈特利布·戴姆勒

德国工程师和发明家，现代汽车工业的先驱者之一。同时，他也是最先发明摩托车的人。



汽车结构剖析图

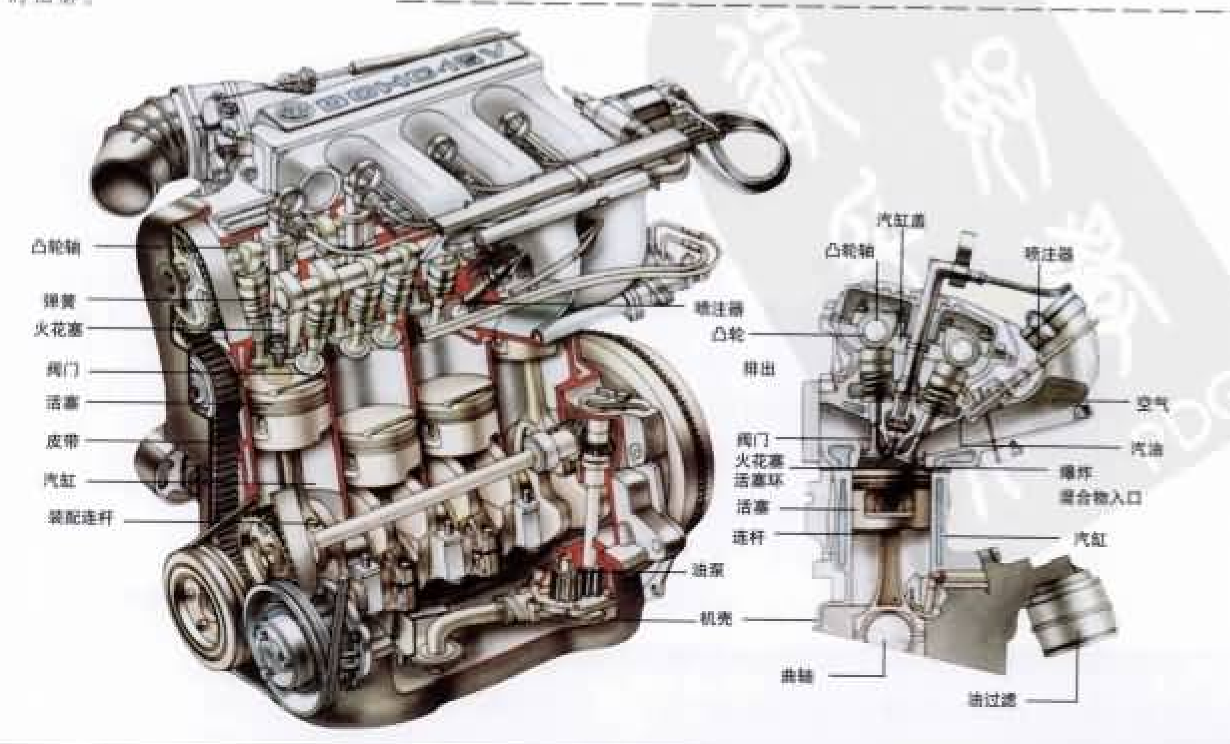
在汽车初创时期，内燃机作为汽车动力具有很多优点，它重量轻，功率大，起步快，燃料便于携带，热效率高，经济性好。随着时间的推移、科技的发展，现代内燃机结构也日趋合理，性能也更加优越。直到今天，汽车的发展日新月异，但内燃机仍然是其最主要的动力形式。

喷射式发动机

汽油直接喷射式发动机是一种能使汽车排气净化，节约燃料的技术装置。它是利用燃料喷射装置，将汽油以雾状高速直接喷射到汽缸或进气管中，与吸入汽缸的空气混合后，再由电火花点燃膨胀，推动活塞下行做功。此图是喷射式发动机及其喷注系统的图解。

成了现代汽车的总体结构模式，而且还使汽车工业走上了大生产的道路。可以说，从福特的T型汽车开始，人类才算真正地跨进了汽车时代。因此福特汽车公司被誉为汽车现代化的先驱。

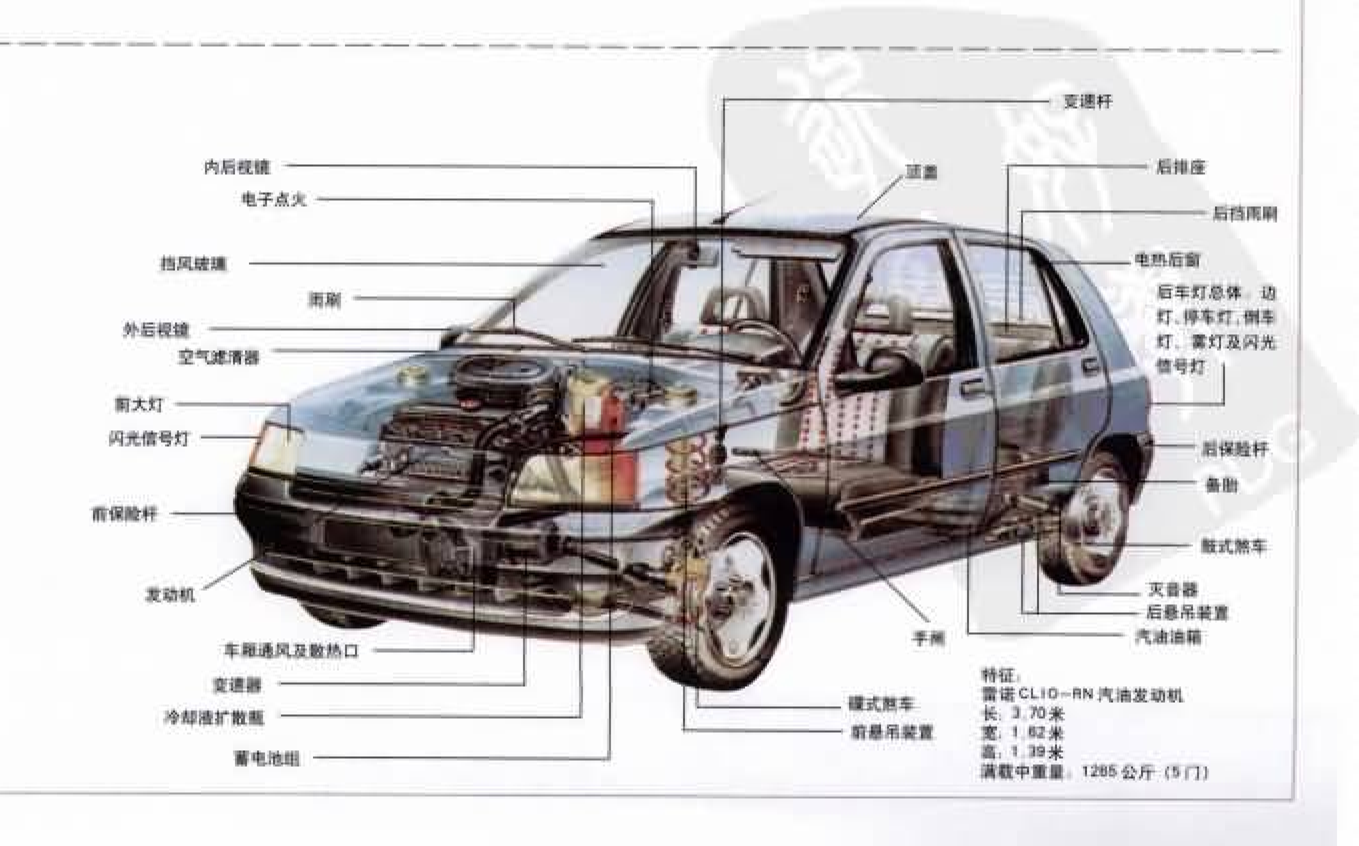
短短几年时间，汽车已经从一种实验性的发明转变为关联产业最广、工业技术波及效果最大的综合性工业。当然，汽车工业的发展不仅依赖于汽车行业本身的技术进步，而且也取决于汽车工业应用这些技术的投资能力和世界汽车市场的投放容量，两者相互影响并受到整个经济形势的发展、人们对环境要求和能源及原材料供应、意外变化及国家政策等的影响。例如第一次世界大战表明了汽车运输的机动性，而且还培训了不少驾驶军用卡车的驾驶员，他们中的很多人还学习到了一些汽车机械技术，于是战后汽车买卖兴隆。在美国，汽车制造商和附件的供应商全负荷生产仍不能满足需求的迅猛增长，汽车价格几倍于战前。但时隔不久，由于经济萧条汽车高需求即宣告结束。第二次世界大战后，在英国，汽车的需要量比第一次世界大战后更高，几乎生产多少就可售出多少。战后的美国工业越



发兴旺，汽车生产在世界上始终处于遥遥领先的地位。汽车、钢铁、建筑这三大工业曾被誉为“三大支柱”，而汽车工业更是美国工业骄傲的象征。

由于各个不同历史时期的许许多多科学家致力于交通运输工具的创新与革命，使轮船、火车、汽车不断行驶到各地，使整个世界经济联结成了一个整体。也正是在这隆隆的火车、汽车和轮船的呼喊声中，宣告了以机器生产为标志的大工业生产体系的真正形成。

为了占领未来汽车市场，如今已有许多公司把各种先进技术和装备，如微型电子计算机、无线电通讯、卫星导航等等新技术、新设备和新方法、新材料广泛应用于汽车工业中，汽车正在走向自动化和电子化。有了卫星导航系统，汽车可接收交通卫星的通信资料，确定汽车所在位置，从而自动提供最优行车路线，并且显示出交通图；汽车的雷达系统可以把障碍物的距离和大小告诉给驾驶员，这样停车就更容易；而语言感知系统可以用图、表和声音告诉驾驶人员汽车的各个部位情况，还可按“音”行事，执行驾驶有关指令等等。另外汽车的能耗，排放废气、噪声和污染等公害也日渐减少，安全性、使用方便性日益提高，即使再次发生石油危机，汽车工业也不会受到很大的影响。汽车是当前世界最主要的交通工具，在将来它仍然是世界上的主要交通工具，别的任何交通工具都不可能完全把汽车取代。





《时代周刊》上的爱因斯坦



第五编　科技狂飙

20世纪的科学技术，内容更加丰富、理论更为深刻，其领域发生了历史上空前的、有深远影响的重大突破，大大加快了人类历史的进程，改善了人类的社会生活，提高了人类的文明程度。此期的科学技术成就，无论在数量还是质量方面都超过了人类有史以来所有成果的总和，成为了整个西方文化演进的主干。

20世纪的科学革命

ERSHISHIJIDEKEXUEGEMING



英国：

1900年，拉摩提出物质中电子的"以太"结构理论。

1903年，卢瑟福提出放射元素的蜕变理论，打破原子不可改变的旧观念。

1910年，索迪提出同位素假说，后又提出放射元素位移法则，放射化学开始成为独立学科。

1919年，爱丁顿首次利用日全食观测验证太阳引力场使星光偏折的效应。

1925年，亚当斯发现天狼伴星光谱线的引力红移，证实白矮星上存在高密度物质。

1927年，阿斯顿揭示出同位素质量偏离整数规则的变化趋势，据此指出释放原子能的可能。

1929年，金斯提出关于天体起源的引力不稳定理论。

1929年，弗来明发现有杀菌作用的青霉素。

1932年，查德威克在人工核反应中发现中子。

美国：

1900年，吉布斯提出经典统计力学基础的系统理论。

1905年，爱因斯坦提出光量子假说，并用以解释光电效应。

1905年，爱因斯坦提出狭义相对论。

1906年，萨拜恩实验研究交混回响现象，创立早期建筑声学理论。

1906年，费森登首次实现调制无线电波收发音乐和讲演，无线电由之诞生。

1906年，爱因斯坦确定狭义相对论的质能关系是体系的重心运动守恒定律成立的条件。

1908年，赫耳发现太阳黑子即日斑周围的磁场，这是首次发现地球外星体的磁场。

1912年，斯里弗尔第一次用多普勒效应测得旋涡星云的视向速度。



1912年，爱因斯坦提出光化当量定律。

1913年，亨·罗素建立恒星的“光谱——光度图”，提出恒星由巨星向矮星演化的学说。

1916年，亚当斯发明求恒星距离的分光视差法。

1919年，美孚石油公司从石油裂化气制造异丙醇，是石油化学利用的开端。

1920年，迈克耳逊、比斯首次用干涉仪直接测量恒星的直径。

1923年，康普顿提出自由电子散射光子的量子理论。

1926年，迈克耳逊测定光的传播速度。

1926年，戈达德设计并发射以液态氧和汽油为推进剂的火箭。

1927年，赫·穆勒、斯塔德勒用果蝇和玉米为材料，第一次利用射线人工诱发突变。

1929年，哈勃发现星系发光度和其谱线红移之间的关系。

1931年，盎萨格用统计力学论点推得不可逆过程的倒易关系，成为“不可逆过程热力学”的基础。

1931年至1933年，斯里弗尔、维尔德推测地球形成时大气成分为水、氨、甲烷和氢。

1932年，杨斯基发现太阳系外银河射来的无线电波，开始射电天文学的研究。

1934年，钱德拉塞克提出质量大于1.3个太阳的冷却天体，必然发生“万有引力”的坍缩。

1935年，斯坦莱首次提纯烟草花叶病毒，并获得病毒体的结晶体。

1939年，奥本海默、斯奈德根据广义相对论，预计恒星在万有引力坍塌的最后阶段，可形成“黑洞”超密星体。

德国：

1900年，普朗克发现电磁辐射的经验定律，解释了辐射定律，是量子论的开始。

1906——1913年，能斯脱从低温化学反应的研究，提出热力学第三定律。

1908年，闵可夫斯基提出狭义相对论的四维空间形式表示法。

1908年，普朗克提出的动量统一定义，奠定相对论力学。

1910年，夏奈、威耳森等首次测定了恒星温度。

1921年，斯特恩、盖拉赫发明利用原子束在不均匀磁场中偏转的方法测量原子的磁矩，为量子论中空间方向量子化原理提供了证据。

1924年，哈邦发现磁控电子管能自动发生高频电磁振荡，引出微波技术的发展。

1925年，海森堡提出矩阵力学。

1929年，海森堡把电磁场看做动力学体系，提出电子和电磁场相互作用的相对论性量子力学，是量子场论的先驱。

19世纪是古典科学发展的一个高峰时期，在物理科学领域，以牛顿力学为代表的古典物理学支配了整个物理世界，而细胞学说和生物进化论则统一了生命科学领域。这些巨大成就使19世纪的人们以为古典科学已经发展到完善的境地，不需要再做更多的探索了。但人类之所以进步，就是在旧的知识体系上发现新问题并攻克它，以建立新的符合自然科学新秩序的原理。当新旧交替的科学危机凸显出来的时候，20世纪注定成为一个科学革命的世纪，科学家们从困惑到探索的过程就此开始了……

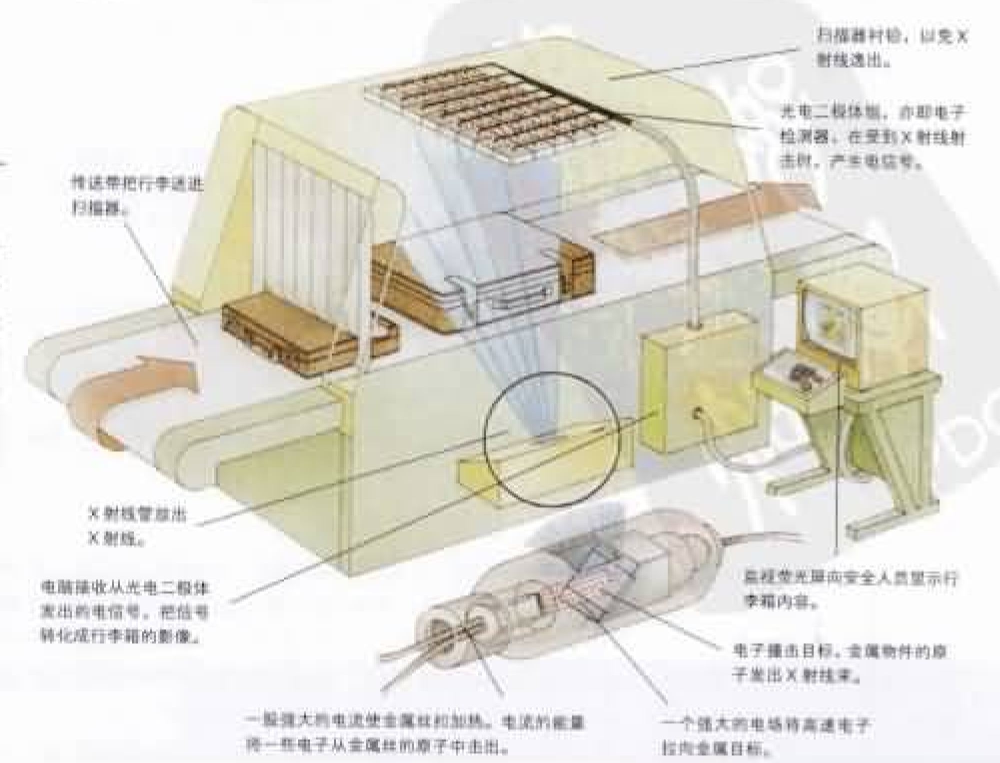
划世纪的发现

Episode Ⅰ

X射线发现者：威廉·伦琴

伦琴在1885年的实验中发现一种射线，它不同于一般的光线，透过透镜时既不发生反射也不折射，而更为奇特的是它能够穿透固体。他的发现在当时科学界引起轰动，因无法对这一射线作出解释，伦琴给它命名为X射线，掀起了科学界对这种射线研究的热潮。

X射线 1895年11月8日，德国物理学家伦琴在做阴极射线的实验时，偶然发现一块亚铂氰化钡做成的荧光屏发出闪光，在放电管和荧光屏之间，不同的阻挡物品阻挡效果很不一样。他意识到这可能是某种特殊的从来没有观察到过的射线，它具有特别强的穿透力。这就是X射线的发现。1895年底，他发表了《一种新射线<初步通信>》。伦琴在他的通信中把这一新射线称为X射线，当时他还无法确定这一新射线的本质。在后来的研究中，科学家们发现X射线强大的穿透力，能够透过人体显示骨骼和薄金属中的缺陷，在医疗和金属检测上有重大的应用价值。它可以透视人体、检查伤病，还可以用于金属探伤，对工业技术也有一定的促进作用。它吸引着科



X射线的应用

图中是一部X射线行李扫描器，主要在机场使用，用来检查乘客行李中是否携带危险物品。当行李箱放在传送带上滑动通过时，X射线管中发出的射线可穿透行李箱，电脑与电子监测器相连，将电子监测器发出的信号组成影像。而比如手枪等金属物体，不能被X射线穿透，会在荧光屏上显形。

学家们投身于X射线和阴极射线的研究，像一根导火线，引起了一连串的反应，开启了现代物理学的新纪元。

放射性 继伦琴发现X射线之后，法国物理学家贝可勒尔受到伦琴和彭加勒关于研究X射线实验的启发，准备用荧光物质寻找X射线。但实验中，他无意间发现与双氧铀硫酸钾盐放在一起但包在黑纸中的感光底板被感光了。他推测这可能是因为铀盐发出了某种未知的辐射。同年5月，他又发现纯铀金属板也能产生这种辐射，从而确认了天然放射性的发现。他的发现又启发了居里夫人投入到关于物质的放射性研究中。她将“放射性物质的研究”作为其博士论文题目，“放射性”一词就是她首先使用的。

1898年4月12日，居里夫妇宣布钍像铀一样具有放射性，从而证明了放射性决不只是某个元素独有的现象。1898年7月18日，他们先发现了比铀的放射性强400倍的新物质“钋”。当年的12月26日，他们发现了“镭”，其放射性大约是铀的900倍，次年又定为7500倍，不久又发现为10万倍。为了确定镭的原子量，居里夫妇花了三年时间，提炼出了0.12克纯镭，测定出镭的原子量为225，放射性比铀强





X射线照片

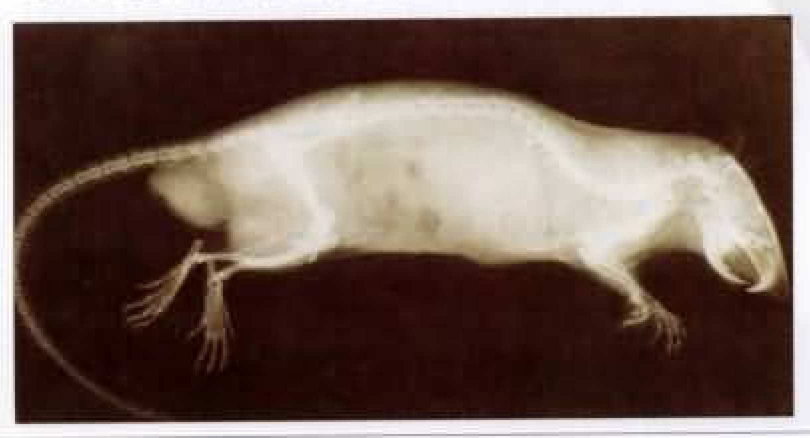
X射线除了有很强的穿透性外，还可以使照相板曝光。此图为利用X射线曝光摄下的伦琴夫人的手，在照片中我们看到的是手上的骨头以及中指上的戒指。

阴极射线管

阴极射线管两端分别带有正负电，当电流通过时，阴极会发射出电流。英国物理学家克鲁克斯为弄清阴极射线到底是什么，制作出各种形状的阴极射线管，图中最下端十字形云母片在射线管中的投影使他相信，阴极射线是沿直线运动的。而伦琴在研究阴极射线管中气体放电实验时，却偶然发现了X射线。

老鼠的X射线照片

X射线发现之后，医院的外科检查使用它进行拍片，图为老鼠的X射线照片。这些早期X射线照片在医学界和物理学界掀起了轰动。







无私的科学家

在辐射的危险性没有被认识之前，大量的科学家都是在毫无保护设施的实验室内工作。此图描绘科学家费·约里奥与伙伴在无保护的实验室工作的场景，居里夫人便是在工作中长期接触镭而致病去世的。



实验中的居里夫人

居里夫人的时代，是禁止妇女进入实验室的，因此她只能在条件极差的小木屋中实验。正是在这样的环境下，凭着坚强的毅力，居里夫人经过若干次的努力，终于从数万吨矿石残渣中提炼出了放射性金属镭。

200多万倍。

由于放射性的发现，1903年贝可勒尔和居里夫妇共同获得了诺贝尔物理学奖。由于在实验中长期受放射线的照射，居里夫人不幸患了白血症，于1934年7月4日在法国去世。

电 子 当伦琴发现了X射线以后，英国物理学家J.汤姆森敏锐地抓住了X射线这一新生事物，立即用X射线轰击气体。实验证明阴极射线在电场和磁场作用下均可发生偏转，其偏转方式与带负电粒子相同。这使他更加深刻地认识到阴极射线的粒子性。后来，汤姆森测出了这种粒子流的质量与电荷的比，其值只有氢离子的千分之一。他把它命名为"微粒"，后来又称"电子"，意即它是电荷的最小单位。汤姆森指出，它比原子更小，是一切化学原子的共同成分。

人类对X射线、放射性及电子的发现，为世纪之交的理论——量子力学理论的建立开辟了道路。

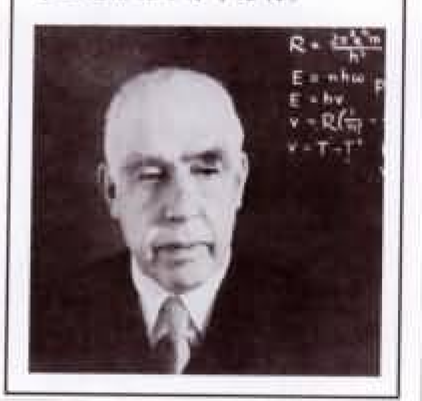
量子力学

Episode II

量子力学的起始 在研究黑体辐射的过程中，人们发现：维恩的辐射定律在长波波段不符合实际，瑞利提出的辐射定律也仅是一种特殊情况。1900年，德国物理学家普朗克提出光子学说，认为：物质发出的光不是连续的，而是一份一份的，每一份光叫一个光子。光子是一种静止质量为零的粒子，具有能量和动量，并且光子的能量与光的频率成正比。这种光子后来也被称为“量子”。当年12月14日，他将这一假说报告了德国物理学会，宣告了量子论的诞生。爱因斯坦是首先意识到量子概念的普遍意义的科学家，在普朗克的理论基础上，他创建了光量子论，以解释光电效应中出现的新现象。爱因斯坦的理论肯定了微粒说和波动说对于描述光的行为的意义，使量子论得以进一步发展。

尼尔斯·玻尔

玻尔借助原子模型和量子力学理论来解释氢的光谱，用量子学理论解释了原子结构。



1911年，新西兰物理学家卢瑟福提出了原子的有核模型理论，次年，在一系列α粒子对金箔的散射实验中得到证实，卢瑟福因此获1908年的诺贝尔化学奖。但根据经典的电磁理论，卢瑟福的原子模型是一个不稳定的模型。后来，丹麦物理学家玻尔提出了量子化的原

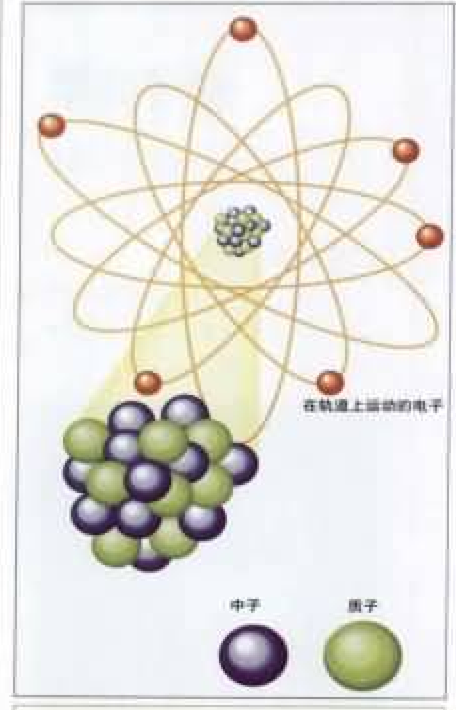
光电效应描述

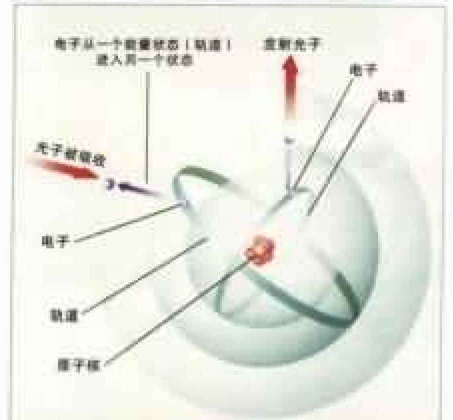
金属表面受到光的照射后，电子会逸出，且他们逸出的速度与光的颜色有关，而与强度无关。爱因斯坦则进一步融合普朗克的量子理论，将光的波形传播想象为微小的光的量子（光子），它们因光的颜色不同带有不同的能量。它们撞击金属时，光子的能量越大，逸出电子的能量也越大。



子结构理论。他运用光谱分析来探索原子内部结构，为了解释原子吸收和发射，他力图把卢瑟福的有核原子模型和普朗克的量子论结合起来，提出了著名的"玻尔理论"——原子的定态假设和频率法则，成功地解释了氢原子的光谱规律。这引起了物理学界的震动，大大推动了量子理论的发展。不过，玻尔的理论在当时只能用于氢原子这样比较简单的情形，对于更多电子的原子光谱便无法解释。

物质波带来的研究 1923年，法国物理学家德布罗意提出了物质波理论，将量子论发展到一个新的高度。德布罗意设想，每个粒子（比如电子）都伴随着波，其波长（λ）与该粒子的质量（m）和速度（v）有关。它们之间的关系可以借助于普朗克常数（h）用一个简单的公式来表示：$\lambda = h/(mv)$。他预言，电子束穿过小孔时也会发生衍射现象。后来科学家们如美国的戴维逊和盖革、英国的汤姆森和乔治等都先后通过电子衍射实验证实了电子具有波动性。德布罗意提出的物质波理论







原子结构示意图

1932年，物理学家查德威克发现了卢瑟福探索原子结构时所预测的原子核内的中性粒子——中子，为核物理学开辟了新纪元。在原子的核式结构中，中子是不带电性的，且质量与质子质量相仿。

电子绕原子核运动

电子在绕原子核旋转的过程中，当它吸收一个光子，就会从靠近原子核的轨道跳跃到离核较远一层的高能轨道运行；当它发射一个光子，则会跳跃到离核较近一层的轨道，而光子的能量就等于电子活动的两轨道之间的能量差。

想象的量子辐射

普朗克提出某种能源发出的光并不是稳定的和连续不断的，而是以"量子"的脉冲形式发射出去，图中的一连串脉冲圆便代表了量子的发射。根据普朗克提出的量子能量的计算公式$E=h\nu$，h为普朗克常数，ν为辐射的频率，即可计算出量子能量。

成了许多科学家专攻的课题，奥地利物理学家薛定谔正是在这一理论的基础上建立了波动力学。

德国物理学家海森伯在长期考察和反复论证的基础上，发表了著名论文《量子论中运动学和力学的形象化内容》，第一次提出了“测不准原理”。这是量子力学中的一条重要原理，无论在物理学上，还是在哲学上，都产生了深远的影响。1925年，他发表论文《关于运动学和力学关系的量子论的重新解释》，创立了解决量子波动理论的矩阵方法。后来，英国物理学家狄拉克改进了矩阵力学的数学形式，使其发展为一个概念完整、逻辑自洽的理论体系。



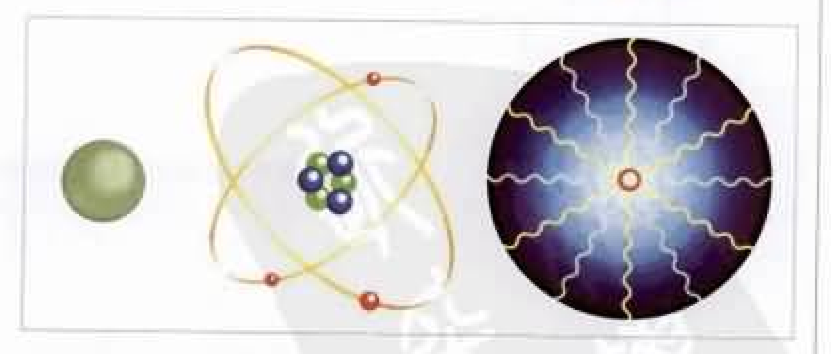
欧内斯特·卢瑟福

卢瑟福在1911年公布了自己研究的原子有核模型理论：原子是由原子核和电子组成；原子几乎全部的正电荷和质量都集中在原子核上，电子在核外绕核旋转。他所描绘的原子世界，跟太阳系内各行星绕太阳旋转的系统一样。



薛定谔

德布罗意提出一切微观粒子都像光一样具有波粒二象性。奥地利著科学家薛定谔在此理论基础上提出了波动力学，建立了薛定谔方程，确定了波函数的变化规律。



原子概念的演化

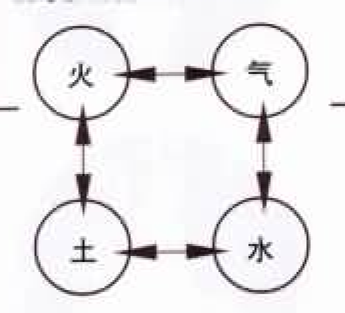
此图自左至右呈现了原子概念的演变。左为古希腊哲学家德谟克里特提出的颗粒观点；中为卢瑟福提出的电子绕原子核旋转的原子结构；右为薛定谔的量子力学描述：原子内部的微粒呈波状运动。

相对论的诞生

Episode III

恩培多克勒的四元素

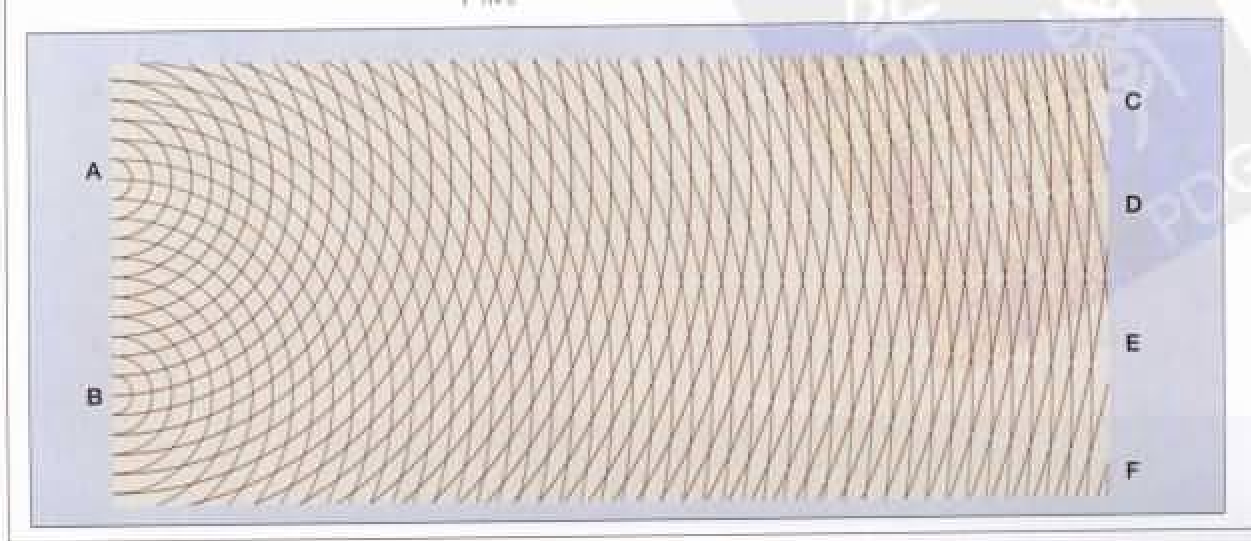
“以太”的最早提出者是古希腊时期的亚里士多德。他认为，宇宙的下界由火、水、土、气四元素组成，上界是由第五元素“以太”组成。然而这一学说提出后被渐渐地淡忘，直到牛顿在研究万有引力时，对引力的传播介质无法具体的定义时，才将亚里士多德的“以太”概念重新复活使用起来。



以太漂移实验　在古典物理学中，统一诸种物理现象的主要方式，是找出该类物理现象的力学模型。而用力学振荡模型来理解电磁现象要解决的一个首要问题是：它是在什么物质媒介中振荡传播的。17世纪的哲学家笛卡尔最先将以太引入科学，他借用希腊词“以太”（在古希腊，以太指的是青天或上层大气），提出一种处处充满以太的宇宙模型。于是，物理学家们认为，电磁传播的媒介就是“以太”。而接下来，这个“以太”的物理性质却让物理学家们大大地困惑起来。更困难的是以太漂移（地球在以太这种介质中遨游，就会相对于以太运动，这种相对运动称为以太漂移）。

双光源发出的光波的相互掺和

光波在空气中的传播的介质到底是不是以太，这引起很多科学家的关注。当时洛伦兹认为“以太”是一种真实存在的物质，不过直到19世纪都不能明确验证它的存在，但“以太”的概念还是在科学史上保留了下来。



1887年7月，美国物理学家迈克尔森和莫雷用了五天的时间探测地球沿其轨道与静止以太之间的相对运动，不过他们所得的结果仍然是零，这就是说，根本没有以太。尽管这令他们非常失望，但这正是科学史上最有意义的否定性实验。按照经典的牛顿物理学理论，这个结论似乎是荒谬的。为了解释“零结果”，1892年，荷兰物理学家洛伦兹提出了收缩假说，这就是著名的洛伦兹变换。尽管这个变换使经典物理学得以保全形式上的完美，但洛伦兹的工作大大修改了物理学的旧体系。1895年，相对论的重要先驱法国物理学家彭加勒为“以太问题”指出了新的方向。他认为，以太漂移是用任何实验手段都不可能测量到的物质的绝对运动，而所有的实验都只可能测量到物质与物质的相对运动。在1902年发表的《科学与假设》中，彭加勒把这个原理称为“相对性原理”。洛伦兹变换和彭加勒的相对运动概念框架，为后来的爱因斯坦相对论埋下了有意义的伏笔。

在爱因斯坦的狭义相对论确立以后，物理学家们最终废弃了以太理论。人们接受了电磁场本身就是物质存在的一种形式的概念，而“场”可以在真空中以波的形式传播。从此，“以太”成为一个历史上的科学名词。

爱因斯坦与相对论 1879年3月14日，在德国乌尔姆

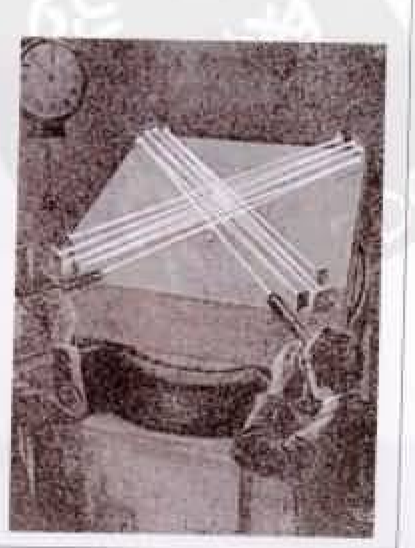
爱因斯坦反对将原子弹用于战争

支持和平的爱因斯坦，曾多次上书美国总统罗斯福反对将原子弹用于战争。当第一枚原子弹在日本广岛爆炸时，想到原子弹释放的光和热将那里烤成焦土，给人类带来的灾难，他感到非常痛心。



迈克尔森—莫雷仪器

迈克尔森和莫雷认为，“以太”是宇宙空间中万有引力、光、电等的传播介质，并试图通过以太来探测地球的运动，但实验没有成功。





市的一个犹太人家庭中诞生了一位在世界科学史上影响深远的人物，他就是爱因斯坦。跟别的孩子很不一样，爱因斯坦小时候羞怯而好奇，直到三岁时才会说话。到上学时，他的文史科目简直一塌糊涂。父母甚至担心他是一个低能儿。在后来，爱因斯坦曾这样描述过他应用概念和图来思维的毕生习惯："我根本就很少用文字来思考，一种思想产生了以后，我才尽量用文字去表达它。"1896年1月28日，爱因斯坦进入瑞士苏黎世联邦工业学院学习数学和物理学。这一时期，他的兴趣全部集中在物理学上。1900年大学毕业后，他在好友格罗斯曼的帮助下，于次年在伯尔尼专利局当上了一名技术员。在伯尔尼专利局任职期间，爱因斯坦深入思考了物理学界的前沿科学，形成了自己独特的物理见解。

爱因斯坦广义相对论的理解

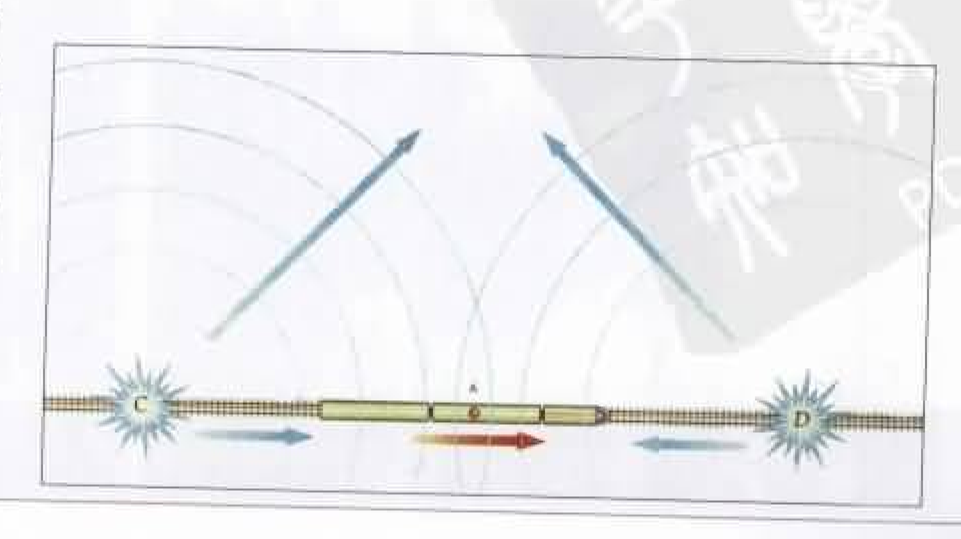
为更好地理解爱因斯坦的广义相对论，可以将空间想象成具有弹性的平面薄片，图中A代表太阳，而周围空间的下沉，代表太阳引力的拉力。沿直线运动的一定速度的行星在接近太阳时，会受到太阳引力拉力的作用，落入下沉中绕太阳在弯曲轨道运行，轨迹为B，而一些速度更快的光线C受到影响相对小，发生稍微弯曲。

1905年，爱因斯坦在科学史上创造了一个史无前例的奇迹。这一年他在德国《物理学年鉴》上发表了五篇论文，其中有三篇可以称得上开辟了人类科学史上的新时代。一篇论文是《关于光的产生和转化的一个推测性观点》，这篇关于光电效应的论文获得了1921年的诺贝尔物理学奖。另一篇是关于布朗运动的论文《热的分子运动论所要求的静液体中悬浮粒子的运动》，论文从数学上详尽地解决了花粉颗粒的无规则运动这一难题。

爱因斯坦最伟大的成就是第三篇论文《论动体的电动力学》。在这

爱因斯坦狭义相对论实验

有一观察者A和B，A坐在一列火车中，火车匀速向D地驶去，B站在火车对面与A正对，当两道闪电同时在C和D两地发生时，观察者B会看到两地的闪电同时发生，而A则看到D地先发生，因为光的传播速度是一样的，因车向D地行驶，A距D地近，故先看到D地闪电，这就是根据爱因斯坦狭义相对论中光速不变原理得出的实验结果。



篇论文中，爱因斯坦提出了举世闻名的相对性理论，即相对论。这是他多年来思考以太与电动力学问题的结果。他以同时性的相对性这一点作为突破口，建立了全新的时间和空间理论，并在新的时空理论基础上给动体的电动力学以完整的形式。自狭义相对论确立以后，“以太”概念不再成为必要，物理学家们抛弃了以太理论。这个相对论原理还只是狭义的，它只适用于惯性参照系。

狭义相对论的基本假设有二：其一称为相对性原理，它可表述为，一切物理定律在所有惯性系中其形式保持不变；其二称为光速不变原理，它可表述为，光在真空中总是以确定的速度c传播，这个速度的大小同光源的运动状态无关。这些假设带来的最著名的效应就是尺缩钟慢效应，即在两个相互运动的参照系中，处于某一参照系的观察者将会发现另一参照系中的物体其运动方向缩短，其时钟也走慢了。这样，爱因斯坦彻底改变了固有的时空观，由此建立了相对论力学。

爱因斯坦的结论颠覆了人们的日常经验，但当时并没有在全球科学界引起关注，只在德国有所反响。德国物理学权威普朗克对此给予了高度评价，认为爱因斯坦的工作可以与哥白尼相媲美。尽管他在瑞士受到冷遇，但当时的世界物理中心德国物理学界，对爱因斯坦这个名字已经耳熟能详了。1912年，爱因斯坦终于成为大学教授，1913年，应普朗克之邀担任新成立的威廉皇帝物理研究所所长和柏林大学教授。

1916年春天，爱因斯坦写了一篇总结性的论文《广义相对论的基础》。广义相对论包括等效原理、广义协变性原理和马赫原理。其中，等效原理是广义相对论最重要的基本原理。爱因斯坦认为，由于有物质的存在，空间和时间会发生弯曲，而引力场实际上是一个弯曲的时空。广义相对论采用弯曲时空的黎曼几何来描述引力场，给出引力场中的物理规律，进而提出引力场方程，奠定了广义相对论的理论基础。利用





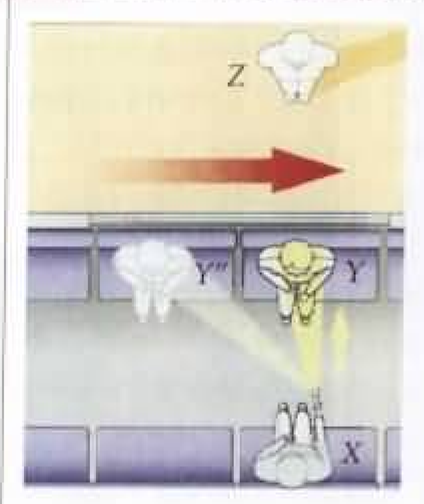
玻尔和爱因斯坦

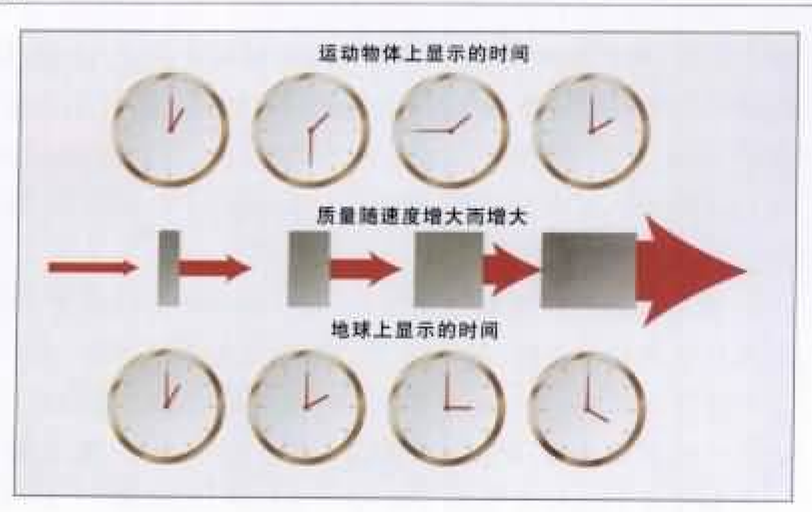
20世纪两位最有影响的物理学家，一位是量子力学的创立者，一位的名字永远与相对论紧密相连。

《时代周刊》上的爱因斯坦

爱因斯坦的背后是他提出的物理学上前著名的质能公式$E=mc^2$，物质的总能量相当于其质量乘以光速的平方。这个公式日后成为原子弹、氢弹以及各种原子能应用的理论基础。







时间相对性实验

向右匀速行驶的火车中对坐着X和Y二人，同时第三个人Z站在车外固定位置看火车经过。当X打开手电筒照向Y时，因火车向右行驶一段距离，故Z看到的光束是从X射向Y位置，在Z看来，光束到Y距离要大一些。因此爱因斯坦认为，所有时间都是和运动的物体联系在一起的，不存在绝对同一的时间。

速度接近光速时，时间会变慢

相对论还表明，当一个物体的运动速度接近光速时，则时间会变慢，甚至趋近于停滞。科学家由此假想，一个人的运动速度要是超过光速，那时间会倒转，人类可以穿越时空回到过去吗？

广义相对论原理，爱因斯坦用太阳引力使空间弯曲的理论，很好地解释了水星近日点运动中无法解释的43秒。他后来的两大预言：引力红移和引力场使光线偏转，都得到了天文学家在天文观测中的验证。这一结果经媒体报道后，爱因斯坦一下子成了世界名人，记者们蜂拥而至，各国均向他发出访问邀请。1921年，爱因斯坦获得诺贝尔奖，虽然他以光电效应方面的贡献获奖，其实相对论才是爱因斯坦最伟大的成就。

爱因斯坦的后半生卷入了当时复杂的国际政治中。他反对战争与暴力，而支持犹太复国主义——在巴勒斯坦建立犹太人家园的运动。在1933年德国纳粹掌权后，当局对他的观点加以指责并没收了他的财产，烧毁了他著的书，这对他而言是个极大的打击。于是，他就在当年迁居美国，并于1940年成为美国公民。在目睹了纳粹的暴行以后，为了防止德国纳粹最先造出原子弹（当时他得知有两位德国化学家已有能力使铀原子裂变），1939年，爱因斯坦曾写信给罗斯福总统，向他提出这些科学知识会使德国去发明原子弹的警告。他建议美国应着手准备自己的原子弹研究，经过这番努力，美国实行了"曼哈顿计划"。根据这一计划，在1945年最先制造了两枚原子弹，而第二次世界大战正是以这两枚原子弹和它所带来的巨大杀伤力而宣告结束的。但当他发现





纳粹焚烧"非德国"书籍

纳粹分子控制德国后，爱因斯坦、弗洛伊德以及其他一些犹太人的著作，都被以不是德国的书籍为借口烧掉，爱因斯坦的科学研究受到动摇和攻击。图中所示为焚书现场。

原子武器对人类的巨大威胁时，内心十分痛苦。战后，他发表了许多宣言，致力于消灭原子弹的和平运动。

在爱因斯坦生命的最后十年里，他偏离了当时物理学的主流——量子力学，致力于统一场论的研究之中。这是至今也无法解决的一个物理前沿问题。1955年4月18日，伟大物理学家爱因斯坦在普林斯顿的家中病逝。他留下遗嘱，要求不发讣告，不举行葬礼。他把自己的大脑供给医学研究，身体火葬焚化，骨灰秘密地撒在不为人知道的河里，不要有坟墓也不要立碑。在把他的遗体送到火葬场火化的时候，随行的只有他最亲近的十二个人，而其他人对于火化的时间和地点都不知道。

爱因斯坦曾经说过："我自己不过是自然的一个极微小的部分"，最后连他的骨灰也回到了大自然的怀抱。但是正如英费尔德第一次与他接触时所感受到的那样："真正的伟大和真正的高尚总是并肩而行的"，爱因斯坦的伟大业绩和精神永远留给了人类。



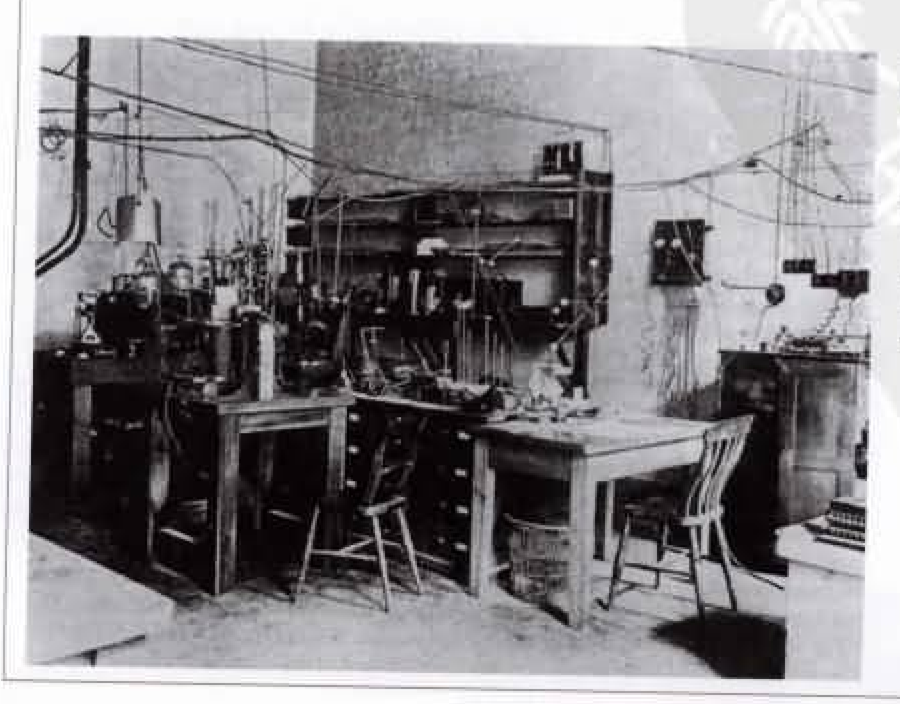
粒子物理学

Episode IV

查德威克

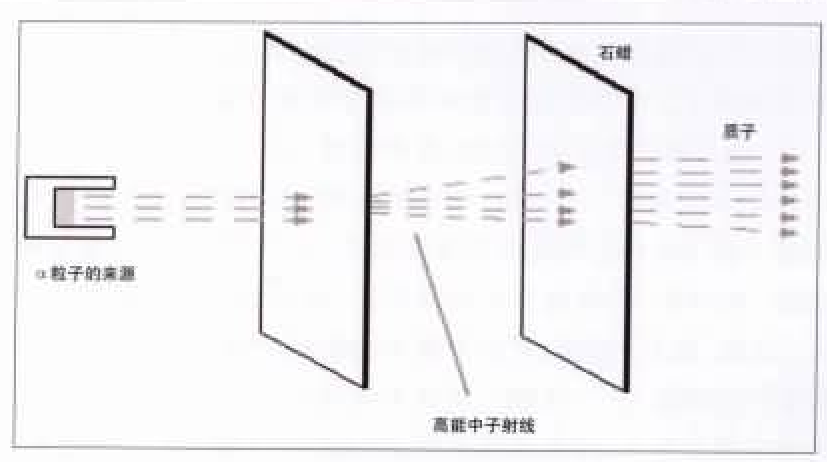
查德威克，英国实验物理学家，做过卢瑟福的助手。他在约里奥·居里夫妇用次级辐射轰击石蜡，打出质子的试验基础上加以研究，测得组成这种射线的粒子的质量和质子一样，且不带电荷，于是称这种粒子为“中子”。中子的发现，使物理学进入核能研究利用的新阶段。

发现中子 在人类对放射性的研究中，中子是已经由物理学家们所预见到的原子微粒。从1928年开始，德国物理学家波特及其学生贝克尔就在做对铍原子核的轰击实验。结果发现，当用α粒子轰击它时，它能发射出穿透力极强的射线，而且该射线呈电中性。但他们断定这是一种特殊的γ射线。这时，卢瑟福的学生查德威克立刻意识到这种新射线很可能就是多年来苦苦寻找的中子。他立即着手实验，花了不到一个月的时间，就发表了“中子可能存在”的论文。他指出，γ射线没有质量，根本就不可能将质子从原子核里撞出来，只有那些与质子质量大体相当的粒子才有这种可能。其次，查德威克用云室方法测量了中子的质量，还确证了中子确实是电中性的。中子就这样被发现了。查德威克由于发现中子而



卡文迪许实验室

卡文迪许实验室是英国剑桥大学的物理实验室，建于1871至1874年间，由该大学的一位校长威廉·卡文迪许私人捐助建造。查德威克就是在这里展开早期对原子结构的研究的。





获1935年度诺贝尔物理奖。

随后，海森伯提出，原子核是由质子和中子组成的。从前的质子—电子模型不能解释许多实验现象，而质子—中子模型可以很好地说明原子量与原子序数问题。新模型很快为人们所接受，质子和中子统称为核子。

μ介子与π介子 1934年，日本物理学家汤川秀树提出"交换粒子"的概念。他认为：电磁相互作用的本性在于电磁场之间相互交换场量子γ粒子，而核力也是通过这种方式进行的，它所交换的是一种新的粒子，其质量约为电子的200倍，介于质子与电子之间，因此可以称为介子。介子是引起核子之间的强作用短程力的粒子。这个预言在1936年美国物理学家安德森和尼德迈耶对宇宙射线的实验中得到确认，并确定介子质量是电子质量的207倍，这就是后来被称为μ介子的粒子。1947年，英国物理学家鲍威尔终于在宇宙射线中发现了另一类介子，其质量为电子的273倍，经反复检测，确定是汤川秀树所预言的介子，被命名为π介子。1949年，年仅42岁的日本物理学家汤川因预言介子的存在而荣获诺贝尔物理学奖。

正电子与中微子 早在1928年，狄拉克在建立相对论性电子运动方程时，就从理论上预见了正电子的存在。1932年，

中子测定实验示意图

α粒子轰击铍，发出的射线轰击石蜡，从石蜡中打出质子来。

威廉·海森伯

海森伯因创建量子力学获得1932年的诺贝尔物理奖，应用这一成果的重要成就是发现了氢的同素异形体。同年他还指出，原子核是由中子和质子组成，比当时假设的原子核由电子和质子组成，更容易让人接受。

查德威克实验中用过的石蜡

科学史上经常会出现"失之交臂"的现象，细微的变化就有可能与一项发现错过。早在查德威克之前，约里奥·居里夫妇在用射线轰击石蜡的实验中就遇到中子，但他们只把这种现象解释为一种康普顿效应，而查德威克重复了上述实验，并用铍产生的射线轰击氢、氮，打出了氢核和氮核，断定了中子的存在。















美国物理学家安德森在宇宙射线的研究中证实了正电子的存在。20世纪30年代，科学家在实验中发现原子核在衰变前后的能量不一致。瑞士物理学家泡利对此提出假设，认为在衰变中放出了一种静止质量为零、电中性、与光子有所不同的粒子，所以出现了能量亏损。由于这种新粒子质量为零，又不带电，所以很难被观测到。1934年，费米建立β衰变理论，间接地证明了中微子的存在。但是，很长时间内人们未能直接地观测到中微子，也不知道应如何去测量它。1962年，美国哥伦比亚大学的莱德曼、施瓦茨和斯坦博格等人，用加速器来产生中微子。高能实验室的发展，使他们终于观测到了中微子，泡利的假说最终得到了证实。

“夸克模型” 由于众多基本粒子的出现，物理学家为此引入了量子数的概念以标记每种基本粒子的特性。1961年，美国物理学家盖尔曼等人排出了一张基本粒子的“周期表”，这张表揭示了基本粒子在许多性质上存在着的对称性。依据对称图对有关空位做出的预言，于1964年被实验证明是成立的。1964年，盖尔曼正式提出了基本粒子结构的“夸克模型”。在这一模型中，三种不同类型（被称为具有三种“气味”）的夸克（即上夸克、下夸克和旁夸克）及其反夸克，经巧妙地组合，所有的强子（即静止质量比较大的基本粒子）均可以由这三个夸克组成，在相互作用中

汤川秀树

汤川秀树受电磁理论启发，提出了核子力的“介子理论”，从他理论的建立到π介子的真正发现，标志人类对物质的认识从原子核阶段进入到基本粒子的领域。

安德森

正电子的发现与宇宙射线有关，当时很多物理学家的工作都表明，宇宙射线很可能是一种微粒辐射。安德森在磁场很强的云室测宇宙射线时， 拍下了宇宙射线中的粒子通过强磁场时的轨迹，发现了一条与电子轨迹有相同偏转角度，但方向相反的轨迹，这就是对狄拉克预言的正电子的证实。

斯坦博格　施瓦茨　莱德曼

此三人一起合作，完成了第一例高能中微子束实验，使泡利假说得以证实。



强子的生成、湮灭和转化均可以归结为夸克的重新组合。

夸克模型出现后，很快吸引了理论物理学家的注意，被认为是统一基本粒子的一个卓有成效的成就。但可惜的是，高能实验中从未发现有单个的自由夸克。为此，有人提出了夸克禁闭假说。今天多数物理学家倾向于认为，由于夸克间的相互结合力随距离的增大而急剧增大趋向无穷，夸克可能永远被禁闭。



弱电统一理论　通过对原子核内相互作用的理论的研究，人们分别发现了强相互作用和弱相互作用。那么，宇宙间的四种相互作用力：引力、电磁力、强作用力和弱作用力，这四种力之间是否存在一种更深层次的统一性呢？1961至1968年间，美国物理学家格拉肖、温伯格和巴基斯坦物理学家萨拉姆先后提出了弱相互作用与电磁力的统一模型，这个模型很好地解释了已知的许多基本规律，而且提出了后来得到实验验证的预言，被认为是一个成功的统一。格拉肖、温伯格和萨拉姆共同荣获了1979年的诺贝尔物理奖。



弱电统一理论现已为许多实验所证实，它使现存的四种基本相互作用实现了部分统一。统一场论是爱因斯坦继创立相对论后毕生追求的目标，尽管弱电统一理论距离爱因斯坦所设想的包括引力场在内的统一场论还很远，但终究使人类在揭示自然奥秘的征途中又前进了一大步。



格拉肖　温伯格　萨拉姆

此三人共同提出了格拉肖—温伯格—萨拉姆理论。他们认为，只要温度达到一定高度（相当于100吉电子伏特能量级）时，电磁力和弱相互作用力的数值就会相等并统一为弱相互作用力。此理论已通过实验证实。



对宇宙的重新认识

Episode V

宇宙膨胀

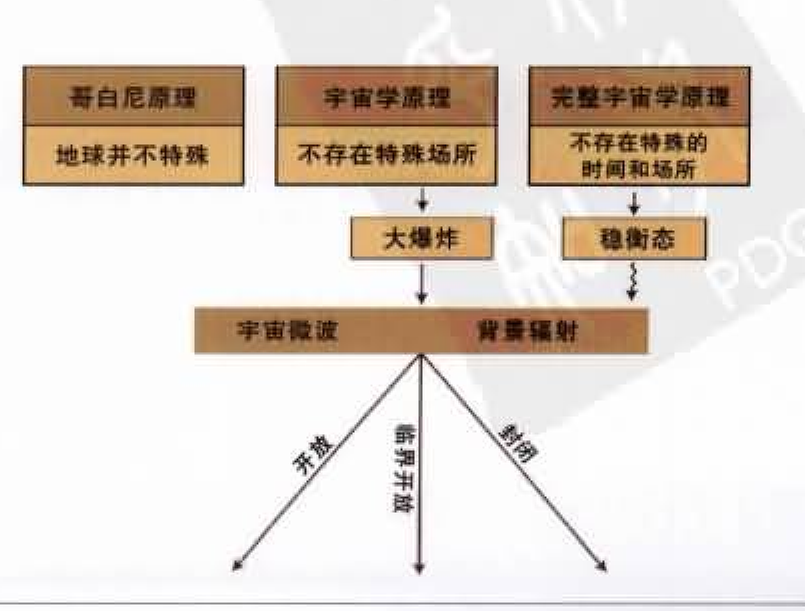
宇宙边缘最新信息研究表示，宇宙膨胀的速度非但没有在受到地心引力的“拉力”作用下减慢，反而在一种叫做“宇宙常数”的真空能量作用下加速膨胀。在膨胀力影响下，宇宙地平线会逐渐缩小，远处星群会越过地平线，成为冻结的影像。图中蓝箭头与红箭头的比较表示的是，在宇宙膨胀时，地平线膨胀得更快。

膨胀的宇宙和宇宙大爆炸 1924年，美国天文学家哈勃在观察仙女座大星云时，第一次发现它实际上由许多恒星组成，而且其中有造父变星，这样就可以运用光度方法来确定它的距离。光度方法也就是依据恒星的视亮度、距离与本身的光度三者之间存在某种确定的关系，视亮度是可以在地球上测定的，因此只要知道了某恒星的光度就可以测算它的距离的方法。计算的结果是，仙女座星云位于70万光年之外，远远超出了银河系的范围，这就最终证明了某些星云确实是遥远的星系。之后，哈勃找到了测定更远距离的新的光度标准，将人类的视野扩展到了5亿光年的范围。

1912年开始，美国天文学家斯莱弗发现河外星云的光谱线普遍存在着红移的现象。根据多普勒效应，这些星系都在离地球远去。1929年，哈勃考

宇宙探索示意图

人们从没有停止过对宇宙的探索。随着科学的进步，人类对宇宙的理解历经了多次革命。哥白尼的理论将宇宙的中心从地球转移到太阳，但他没有放弃宇宙中心论和宇宙有限论。而20世纪宇宙爆炸理论的提出，使宇宙的命运又陷入新一轮探索。



察了斯莱弗的发现，提出了著名的哈勃定律：星系的红移量与它们离地球的距离成正比。这个定律展示出宇宙像是一个正在胀大的气球，也即宇宙是个膨胀的宇宙。



1948年，美国帕洛马山天文台建成了当时世界最大的光学望远镜，天文学家利用新的望远镜继续证实了哈勃定律，但对哈勃关系中的哈勃常数提出了疑问。经认真仔细地校订，发现哈勃常数比实际数值小了10倍，按新的常数估计宇宙的年龄应当是200亿年。从20世纪40年代末开始，俄裔美籍物理学家伽莫夫（1904—1968年）等人提出了热大爆炸宇宙模型。大爆炸模型预言：随着宇宙的不断膨胀，温度不断下降，各类元素开始形成，但原初辐射与物质元素脱离耦合后仍保持黑体谱，黑体辐射的温度大约是5K。60年代，天文学家真的观测到了这种宇宙背景辐射，从而使大爆炸宇宙模型被广泛地接受，成为宇宙学界的标准模型。



20世纪四大宇宙发现

一、宇宙微波背景辐射。

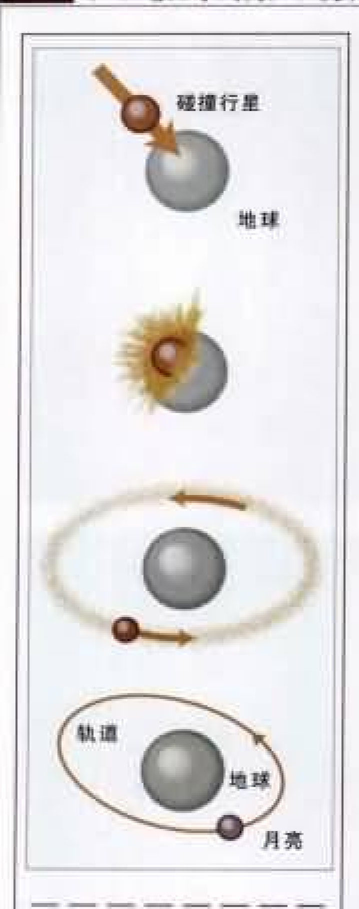
1964年，美国贝尔电话实验室的射电天文学家彭齐亚斯和威尔逊在新泽西州的克劳福德山上调试供人造卫星用的天线。当他们想出办法避免地面噪声，而且提高了灵敏度后，发现总有一个原因不明的噪声消除不掉。该噪声十分稳定，相当于3.5K的射电辐射温度。他们从普林斯顿大学理



浩瀚的宇宙

在认识宇宙的内部结构之前，摆在天文学家面前的首先是宇宙的尺寸。宇宙到底有多大？还有数以百万的天体是如何散布在距地球远近不同的空间中？对于宇宙的探索总是在一步一步深入。20世纪上半叶的爱因斯坦提出宇宙是静止的，在它的空间里是没有运动的物质的，其后他摒弃了这个理论，用广义相对论计算出宇宙正在膨胀。而1927年，比利时天文学家乔治·勒梅特则提出，宇宙起源于一个“原初原子”，它存在某些不稳定性，一直在膨胀，最后会导致爆炸。哈勃则通过望远镜发现，太空中的星体正在相互远离，为宇宙大爆炸理论提供了另一方面的研究资料。





天文学家提出的月亮起源示意图

天文学家不断提出新理论来解释太阳系星体的历史。对于月球的起源有的天文学家认为，月亮是地球与另一大天体碰撞后分裂出来的；有的则认为月亮是太阳系内早已存在的较远地方的天体，漫游到地球附近时被地球引力吸引过来的。示意图表现的是第一种说法。

论物理学家皮尔布斯关于"大爆炸宇宙起源会留下射电噪声残余物"的理论预言中得到启示，经过深入探讨后，终于得出结论：他们在实验中所观测到的，正是这种宇宙微波背景辐射。他们的工作为宇宙起源的大爆炸理论提供了有力的实验证据。

二、类星体。

1963年，天文学家发现了一种新的奇异的星体，它体积极小，辐射能量、红移量都极大。如果按红移的多普勒效应解释，类星体应该离我们极为遥远，有些类星体可以达到上百亿光年。但它们的亮度又十分大，这样远的天体向我们辐射出如此巨大的能量，这用我们已知的任何物理规律都无法解释。这一问题目前仍在争论之中。

三、脉冲星。

1967年，英国天文学家赫威斯用一台高分辨射电望远镜对1 000个以上的射电银河系进行了探测。他和他的学生们收到一个弱射电源，随后，赫威斯和同事们利用时间分辨率更高的记录对这种射电源进行详细的研究，终于发现了这种射电源发出的讯号是重复的脉冲。他们指出：这种脉冲讯号源是振动的中子星和超新星爆炸的产物。脉冲星的发现对于进一步了解宇宙的物理本质有很高的价值。

四、星际分子。

1963年，射电天文学家在仙后座发现了羟基分子的光谱；1968年，又在人马座方向发现了氨分子的发射谱线；1969年，在人马座上还发现了一个多原子的有机分子——甲醛分子。这个发现引起了科学界的高度重视，因为甲醛分子在适当的条件下可以转化为氨基酸，而氨基酸是生命物质的基本组成形式。这意味着，在宇宙空间确实存在着生命发生的适宜条件。

20世纪的遗传学与基因工程

Episode Ⅵ

遗传学的起始 遗传学是研究生物体遗传与变异规律及其物质基础的科学。1866年，遗传学先驱孟德尔发表了他的《植物的杂交实验》，第一次阐明了生物界有规律的遗传现象。但这一划时代的论文并未引起人们当时的注意。当1884年他默默无闻地去世后，在20世纪的头一年，德国植物学家德佛里斯和科灵斯，以及奥地利植物学家丘歇马克各自独立地发现和验证了孟德尔在35年前的研究成果，并将其总结成了“性状分离定律”和“自由组合定律”这两个著名的遗传规律。至此，遗传学先驱孟德尔超时代的伟大发现在被埋没了35年之后终于被重新确认，孟德尔也由此被誉为“遗传学的创始人”。

1906年，英国伦敦召开第三次国际遗传大会，担任大会主席的英国剑桥大学教授贝特森

孟德尔

孟德尔在长达八年的豌豆杂交实验中发现了人类生命学的秘密——遗传学中的自由组合定律和分离定律。他对旧的混合遗传概念和获得性遗传概念提出了挑战。

1984年的第一张基因指纹图

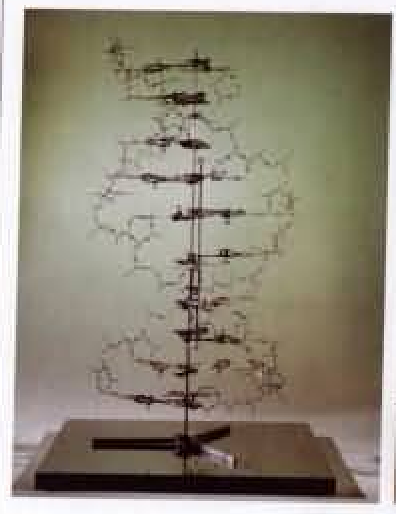
基因与指纹不同，指纹可以起到验证身份的作用，而基因除验证身份外，还包括更加丰富的信息，如在某些遗传疾病的病例分析中，基因可是不可忽视的。

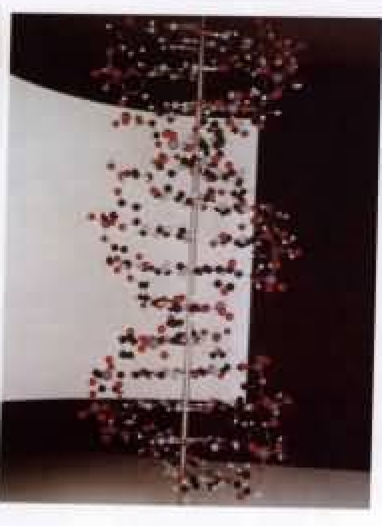


孟德尔遗传规律示意图

豌豆的相对性状（图中指花的颜色，红色为显性，黄色为隐性）是受一对显隐基因控制的，当两个母体交配时，各个母体内的基因分离，再与其他母体内基因重新组合。图中豌豆的显性基因用R表示，隐性基因用r表示。上图两母体交配产生Rr的基因，表现为显性，花都为红色；下图两母体交配产生RR、Rr、rr三种基因，只有rr表现为隐性，花为黄色。







DNA 双螺旋结构

DNA 双螺旋结构模型的建立，使人类在揭示生命遗传奥秘方面迈出了一步。DNA 在复制中，双螺旋解开，以一条为母本，利用周围细胞介质中游离的化学基，遵循碱基互补配对原则，合成另一个新的DNA 分子。因此稳定的遗传信息得以从亲代传递给子代，使生物的前后代保持了一定的连续性。但DNA 复制并不都是准确无误的，在一些条件下会发生差错，产生变异。

正式提出了"遗传学"这一名词。1909年，约翰逊将孟德尔所假定的"遗传因子"更名为"基因"，并提出了"基因型"和"表现型"等经典遗传学中最重要的概念。

基因遗传学说 1909年，美国著名遗传学家、哥伦比亚大学教授摩尔根开始以果蝇为材料进行实验遗传学研究，发现了遗传学上的第三大基本规律——连锁与互换定律。1911年9月，在法国巴黎召开了第4届国际遗传学大会。会议期间，摩尔根学派的研究者以果蝇为材料绘出了表示基因在染色体上位置的染色体图，第一次将一个特定基因与特定染色体上的特定位点联系了起来。

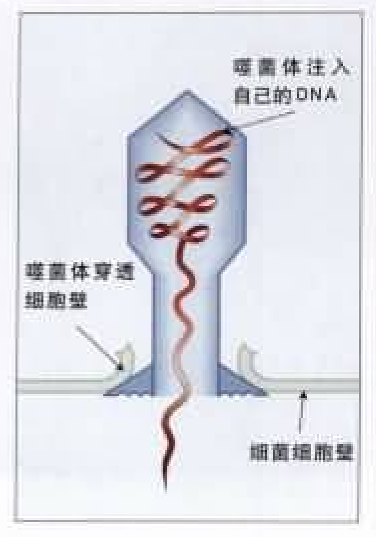
1926年，摩尔根提出了著名的"基因学说"。其论点是，基因作为连续的遗传物质，是染色体上的遗传单位，具有很高的稳定性，能自我复制，能发生变异；在发育过程中，一

染色体

人类的体细胞内有23 对染色体，包括有22 对常染色体，另外两条为性染色体。女性体细胞中性染色体是两条 X 染色体，它们的大小和形状相同，男性的性染色体是由一条 X 染色体和一条 Y 染色体组成，人类的生男生女就是由体内的性染色体控制的。 图中表示的是一位女性体细胞内的染色体示意图。



定的基因在一定条件下控制一定的代谢过程，从而体现在一定的遗传特性上；生物进化的材料主要是基因及其突变等。基因学说的创立发展了孟德尔的遗传学说。这一时期的另一重大成就是1927年摩尔根的学生、美国遗传学家缪勒发现，基因和染色体的突变不仅在自然情况下产生，而且在X射线的作用下也会大量发生。他明确提出，X射线是强有力的基因突变剂，可显著影响基因的突变率，从而创立了突变理论，使遗传学进入到一个新的发展阶段。



噬菌体

噬菌体是一种细菌病毒，多呈蝌蚪状，也有球形和杆形。它的复制与一般生物的DNA的复制不同，它将自己的RNA或DNA注入细菌体内，在细菌体内进行繁殖，然后将宿主撑破，子细菌体得以释放出来感染其他细菌。

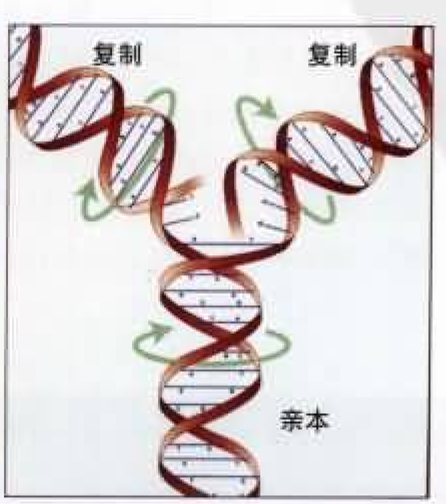
DNA与基因工程 20世纪40年代，遗传学家们利用生化方法探索遗传物质的本质和功能，取得了一些成果。如：1941年，比德尔提出了“1个基因1个酶”的著名学说；同年，卡斯帕森利用定量细胞化学方法，证明了DNA存在于细胞核中；1944年，艾弗瑞利用纯化因子对肺炎双球菌的转化实验，证明了遗传物质是DNA而不是蛋白质。

20世纪50年代，遗传学研究取得了辉煌的成就。1953年，美国科学家沃森和英国学者克里克共同发现了DNA分子的双螺旋结构，它标志着遗传学研究进入了分子遗传学时代。从那时起，DNA作为基因的载体逐渐被遗传学家所认同。1958年，克里克提出了生物体内遗传信息流向的中心法则。1959年，勒琼首次发现一种较为常见的先天性痴呆症——唐氏综合征。该综

同一物种个体差异性

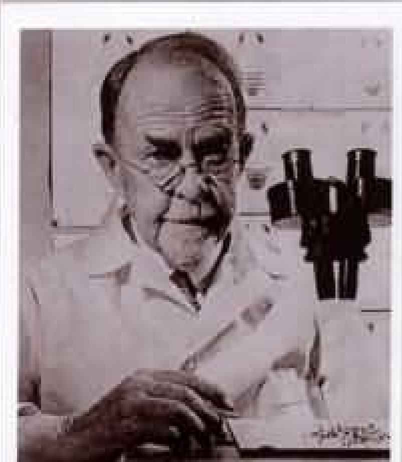
同一物种内的生物具有相同的物种基因，因此它们以相同的形式存在，但由于个体基因的差异，它们又显示出微小的不同。生物个体的进化实质是，同一物种内个体基因的寻优。达尔文进化论中的“物竞天择”、“优胜劣汰”，是这种基因寻优的外在表现。

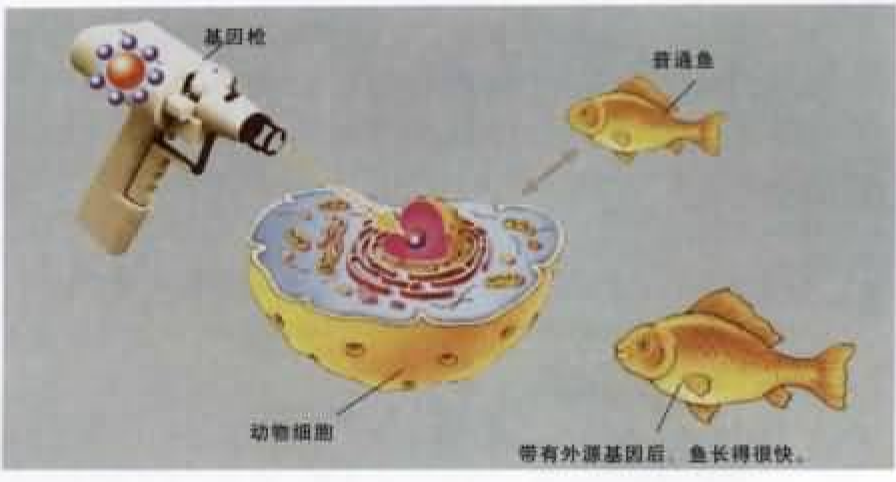




DNA的复制

DNA的复制是以亲代DNA为模板合成子代DNA的过程，要经过解旋、合成、复旋三个过程，需要在酶帮助下进行，而且还要有能量的参与。图中新形成的DNA分子中，包括一条旧链和一条新链。





摩尔根

遗传学中的染色体理论是由摩尔根创立的。他通过果蝇实验，第一次证明了遗传因素（基因）存在于染色体上，开辟了遗传学的新纪元。

"基因枪"

基因枪技术是把外源基因射入到细胞内的一种物理方法，图中将外源基因注入鱼体细胞，改变了鱼的基因，使它的生长速度大大改变。

合征是由于患者细胞中多出了一条小染色体，是一种染色体畸变。他的发现开创了细胞遗传学应用于人类遗传病研究的道路。之后，多种染色体数目异常的疾病被发现，染色体病的概念由此诞生。

20世纪70年代后，分子遗传学的研究更加深入。对遗传密码的破译，导致了遗传工程的出现。1973年，科恩等人用限制性内切酶，以及人工分离基因的方法成功地实现了DNA分子的体外重组，从而使人类进入了能按需要设计和改造生物物种的新时代——遗传工程时代。进入20世纪80年代，遗传学与分子生物学和发育生物学的结合更加深入。以基因工程为龙头的遗传工程技术的应用，为遗传学在研究技术和方法上带来了革命性的突破。1982年，利用重组DNA技术首次生产的抗糖尿病药物——人工胰岛素上市。1987年，赫勒等人测定分布在人类46条染色体上的400多个遗传标记间的相对位置，绘制出了第一张人类基因组的连续图谱。1986年，美国率先提出了"人类基因组计划"，其基本目标是，投入30亿美元在15年左右的时间内搞清人类基因组中全部30亿对碱基长度的DNA分子中所包含基因的数量、



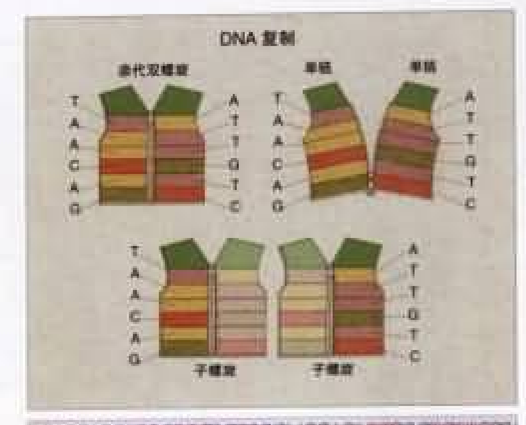
DNA 在细胞体内的复制流程

这是DNA复制在细胞体内的流程。我们可以看到染色体以及DNA复制都是在细胞核内进行的，在碱基的配对中，通过颜色的表示可以知道鸟嘌呤和胞嘧啶配对，腺嘌呤一定与胸腺嘧啶配对。



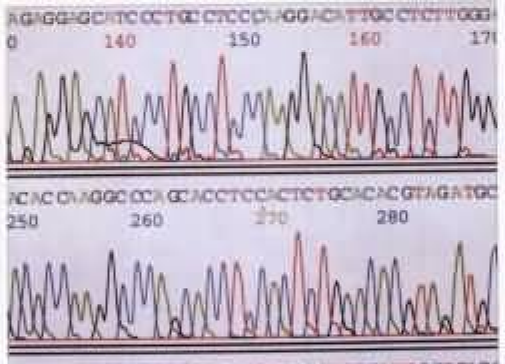
DNA分子的复制

DNA分子的复制发生在细胞周期的间期，主要在细胞核内进行，由A、T、G、C四种大量的脱氧核苷酸作为原料，在酶和能量的辅助下进行。此图以客观的形象将这一抽象过程做了诠释：将DNA分子比作带拉链的衣服，细胞分裂时，DNA分子解链，每一条链都会吸引多余的核苷酸复制出对应的一半，成为新的DNA分子。



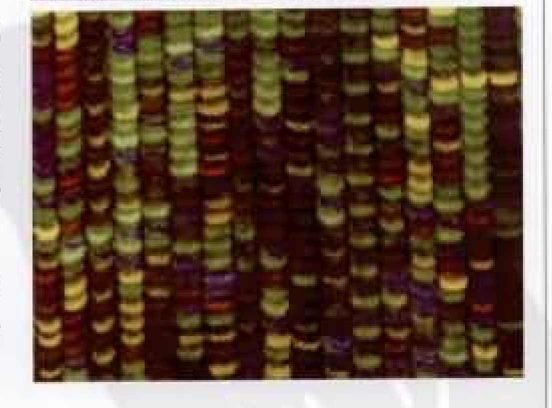
一张显示DNA信号的序列色图

DNA分子的基本单位是脱氧核苷酸，组成脱氧核苷酸的碱基有4种：腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶和胸腺嘧啶（在生物学上分别用字母A、G、C、T表示），因此脱氧核苷酸也有四种。DNA分子的每一条链上脱氧核苷酸都有一定的排列顺序，生物的遗传信息就储存于DNA的脱氧核苷酸序列上。



遗传密码

这一电脑制作图像显示了相邻基因的碱基对的结构，这些碱基对的排列顺序构成了生物体的遗传密码，不同的碱基序列承载着不同的遗传信息。



碱基排列顺序，并绘制出详细的基因图谱。至2000年6月，经过美、英、德、法、日、中等6国科学家的努力，人类基因组工作框架图绘制完成。人们发现，人类基因组共有32亿个碱基对，包含3万至4万个蛋白编码基因。

基因图谱的成功绘制，为生物学的大发展奠定了良好的基础。人类在对生命本质的探索中又向前迈出了具有历史意义的一步。

高科技的诞生

GAOKEJIDEDANSHENG



美国：

1900—1902年，莱特兄弟发展了滑翔飞行技术。

1903年，莱特兄弟自制轻便内燃机，第一次成功实现用螺旋桨飞机飞行。

1906年，美国德福雷斯特发明热电子三极管，是真空管技术的先驱。

1906年，费森登发明调幅波。

1925年，兹沃里金发明光电显像管。

1926年，高达德在麻省成功发射首枚以液氧和汽油为燃料的液体火箭。

1926年，无线电广播开始在全美普及。

1928年，兹沃里金发明电视显像管。

1929年，伊夫斯首次实现彩色电视的试验。

1931年，安德森发现宇宙射线中存在正电子。

1934年，费米用中微子概念，提出原子核β衰变的量子理论。

1936年，布莱特、维格纳提出核反应的共振公式。

1938年，拉比、库什发明利用原子束或分子束的射频共振磁谱仪，精确测定核自旋和核磁矩。

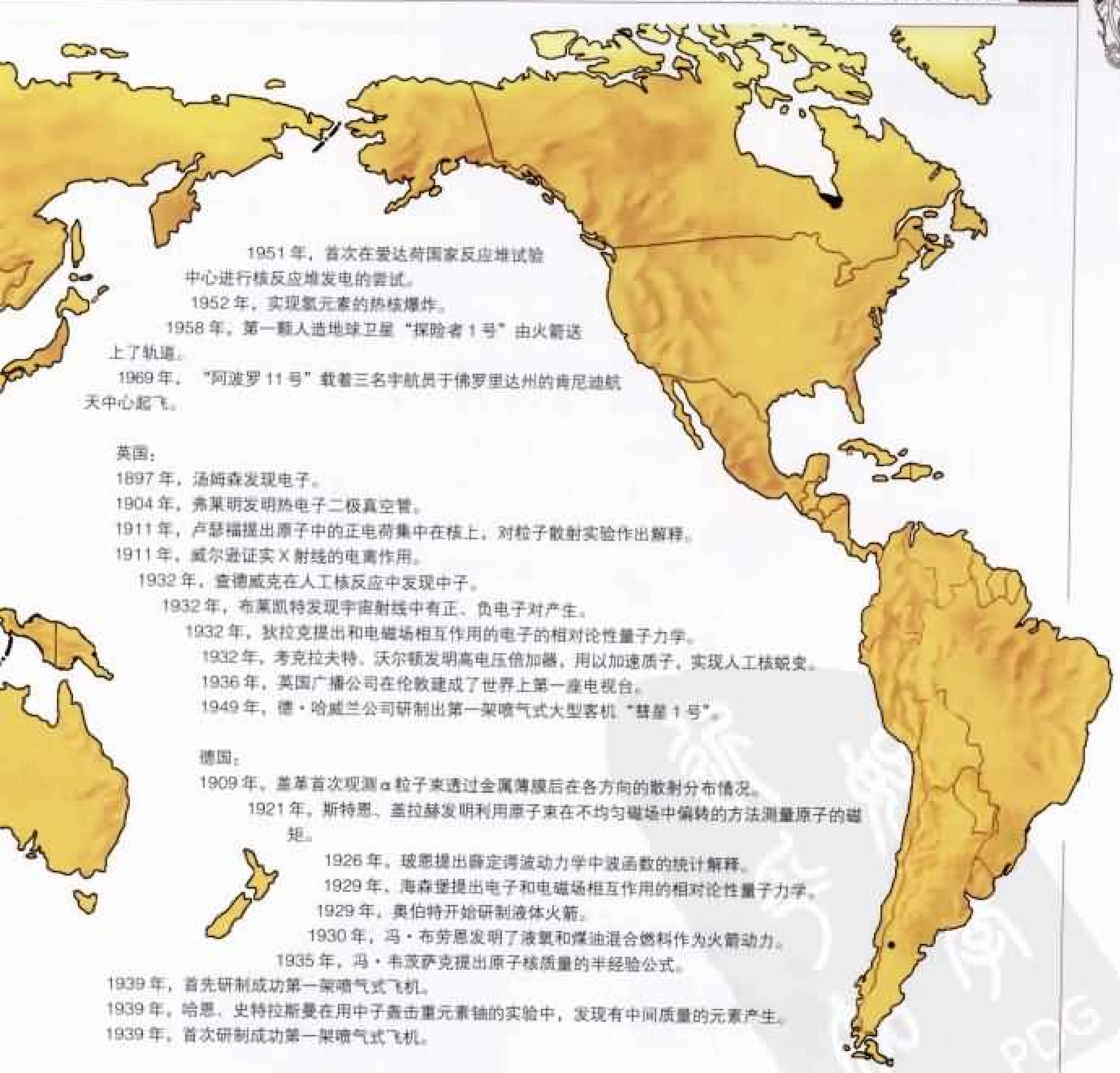
1939年，电视在美国出现。

1942年，费米、安德森、津恩、西拉德、维格纳等利用铀核裂变释放中子及能量的性质，发明热中子链式反应堆，是大规模利用原子能的开始。

1945年，洛斯阿拉莫斯实验室制成快中子链式反应爆炸装置——原子弹。

1945年，莫克莱制成世界上第一台电子计算机。

1947年，贝尔电话实验室的肖克莱和布拉坦成功研制了第一只晶体管。



1951年，首次在爱达荷国家反应堆试验中心进行核反应堆发电的尝试。

1952年，实现氢元素的热核爆炸。

1958年，第一颗人造地球卫星“探险者1号”由火箭送上了轨道。

1969年，“阿波罗11号”载着三名宇航员于佛罗里达州的肯尼迪航天中心起飞。

英国：

1897年，汤姆森发现电子。

1904年，弗莱明发明热电子二极真空管。

1911年，卢瑟福提出原子中的正电荷集中在核上，对粒子散射实验作出解释。

1911年，威尔逊证实X射线的电离作用。

1932年，查德威克在人工核反应中发现中子。

1932年，布莱凯特发现宇宙射线中有正、负电子对产生。

1932年，狄拉克提出和电磁场相互作用的电子的相对论性量子力学。

1932年，考克拉夫特、沃尔顿发明高电压倍加器，用以加速质子，实现人工核蜕变。

1936年，英国广播公司在伦敦建成了世界上第一座电视台。

1949年，德·哈威兰公司研制出第一架喷气式大型客机“彗星1号”。

德国：

1909年，盖革首次观测α粒子束透过金属薄膜后在各方向的散射分布情况。

1921年，斯特恩、盖拉赫发明利用原子束在不均匀磁场中偏转的方法测量原子的磁矩。

1926年，玻恩提出薛定谔波动力学中波函数的统计解释。

1929年，海森堡提出电子和电磁场相互作用的相对论性量子力学。

1929年，奥伯特开始研制液体火箭。

1930年，冯·布劳恩发明了液氧和煤油混合燃料作为火箭动力。

1935年，冯·韦茨萨克提出原子核质量的半经验公式。

1939年，首先研制成功第一架喷气式飞机。

1939年，哈恩、史特拉斯曼在用中子轰击重元素铀的实验中，发现有中间质量的元素产生。

1939年，首次研制成功第一架喷气式飞机。

随着人类对自然科学认识的深入与扩大，20世纪的重大科学成就迅速地转化为相应的高科技，在人们的生产和生活中发挥出巨大的作用。如X射线的发现应用于医疗和工业探伤，无线电的发明推动了电信技术，晶体管的出现造就了微电脑技术，原子核裂变链式反应推动了现代核能的利用，对DNA的探索实现了后来的基因工程。在本章中，着重介绍这些转化而来的高科技及其对人类社会生产生活所产生的深远而巨大的影响。



核能利用

Episode I

核聚变

由几个原子核聚合成一个原子核的过程被称为核聚变。但只有较轻的原子核才能发生核聚变，比如氢的同位素氘、氚等。核聚变能释放出巨大的能量。太阳内部连续进行着氢聚变成氦的过程，它的光和热就是由核聚变产生的。

原子时代的起点 1919年，古代人梦想的炼金术首先被卢瑟福实现，他用天然放射性物质发射出的高速α粒子（即氦核）轰击氮核，得到了氧核，在历史上首次把一种化学元素变成了另一种化学元素，实现了人工嬗变。1932年，他的学生查德威克发现了中子。中子以其不带电的特性，更适合作为轰击原子核的“炮弹”。1934年1月，约里奥·居里夫妇用α粒子轰击稳定原子核产生了放射性同位素。这一实验的重大意义在于，首次产生了人工放射性。在这个成果的基础上，许多物理学家致力于轰击原子核的实验性工作。

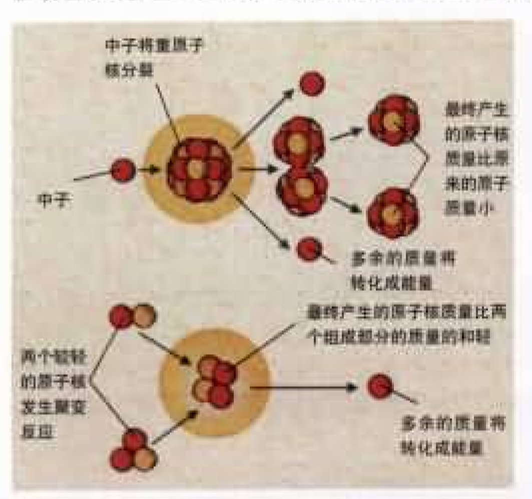
1934年，费米用中子来轰击原子核，在短

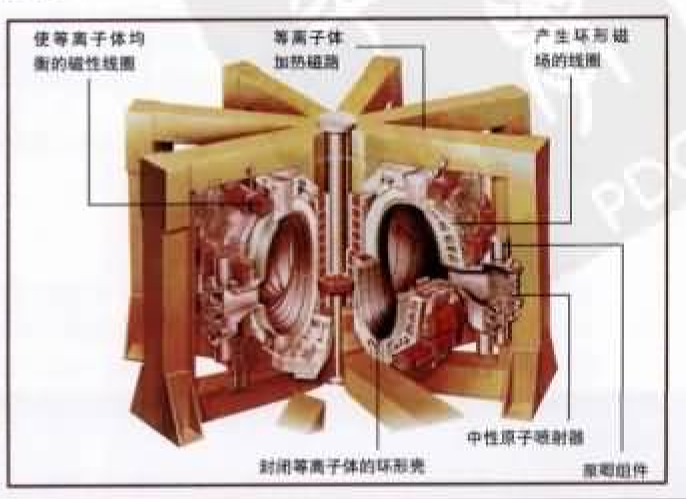
核裂变反应

核裂变和核聚变都会导致原子核质量的减少。根据爱因斯坦的质能公式，可以知道失去的质量将转化为能量，大小等于损失的质量与光速平方的乘积。

欧洲联合核聚变实验装置

核聚变在宇宙星体中心永恒地进行着，但人工控制产生核聚变却是极其困难的。为实现对核聚变的控制，在当今研究的装置中，托卡马克就是其中一种。它是依靠等离子体电流和环形线圈产生的强磁场，将极高温等离子状态的聚变物质约束在环形容器里，以此来实现聚变反应。从1983年以来投入应用的欧洲联合核聚变实验装置，就是一个托卡马克型等离子体磁性封闭装置。







短几个月内发现了数十种放射性同位素。费米和他的同事观察到：把中子源和被轰击的物体放在大量石蜡中，放射性会增加很多倍。水也会产生类似的效应。费米用“慢中子”解释了这一现象。他认为，由于质子和中子的质量相等，所以当快中子与静止的质子发生碰撞时，快中子损失能量变为慢中子，慢中子与重原子核的反应截面比快中子大得多。这一发现为研究重核裂变的链式反应和原子核反应堆的理论设计奠定了基础，被后来认为是原子时代的“真正起点”。当他们继续用慢中子轰击铀元素时，却发生了异常的情况，即用中子轰击之后的铀产生了许多新的放射性元素，如钡、镧等。

到了20世纪40年代，奥地利女物理学家迈特纳指出，这是铀核在俘获了中子后分裂的结果。她称这一过程为“分裂核”，并认为裂变过程要发生质量亏损，根据爱因斯坦的质能关系式，裂变应放出大量的能量。她的侄儿证实了这一想法，并电告玻尔，玻尔立即转告了正在美国开会的物理学家们，引起了强烈的轰动。费米得知这一信息后，当即提出了链式反应的概念。铀-235核俘获了中子后发生裂变可产生2至3个中子，这些中子可引发其他铀核发生裂变；裂变又使每个铀核产生2至3个中子，这些中子再引发新的裂变。这样发生的铀核裂变和产生的中子会使裂变持续下去。这种依次产生的核裂变过程相当快，只在一瞬间就会产生巨大的核能。于是，核能的巨大潜能就此翻开了人类利用自然的新篇章。

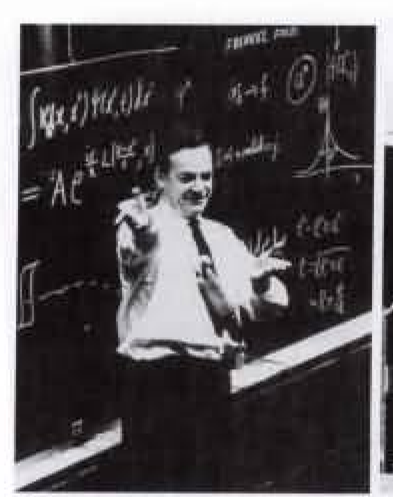
1941年，原子弹专家费米从意大利逃到美国芝加哥，领导美国第一个原子反应堆的建造。1942年，反应堆开始正式运转，这一成就是原子能时代的一个重要里程碑，它宣告了

理查德·费曼

美国著名的物理学家，1965年诺贝尔物理奖得主。提出了费曼图、费曼规则和重正化的计算方法，这些是研究量子电动力学和粒子物理学不可缺少的工具。

“曼哈顿计划”基地

1942年6月，美国陆军部开始实施利用核裂变反应来研制原子弹的“曼哈顿计划”。图中是该计划的基地——新墨西哥州洛斯阿拉莫斯的农场学校。“计划”集中了当时西方国家(除纳粹德国外)最优秀的核科学家，并动员了10多万人参与其中。历时3年，耗资20亿美元，于1945年7月16日成功地进行了世界上第一次核爆炸。







灾难中幸存的的建筑物

原子弹“小男孩”爆炸的巨大威力，将6平方公里的广岛夷为平地。图中的科学和工业博物馆，是在这次爆炸中少数未被摧毁的建筑之一。





核武器

核武器是20世纪40年代前后科学技术重大发展的结果，也是能进行核裂变或聚变反应释放能量，产生爆炸作用，并具有大规模杀伤破坏效应的武器的总称。

核能时代的开始。



罗伯特·奥本海默

美国伟大物理学家、“曼哈顿计划”的主要领导者之一，领导并制造出世界上第一批原子弹。

“曼哈顿计划” 在第二次大战爆发前，物理学界已经清楚地认识到释放核能的理论和实验依据已经齐备。1939年，爱因斯坦曾写信给罗斯福总统，向他提出这些科学知识会使德国去发展原子弹的警告。他建议，美国应着手准备自己的原子弹研究。经过他和一些科学家的努力，产生了“曼哈顿计划”。

“曼哈顿计划”的最终目标是赶在战争以前造出原子弹。在物理学家劳伦斯、康普顿等人的推荐下，军事当局请普林斯顿高级研究院院长奥本海默负责这一工作。为了使原子弹研制计划能够顺利完成，根据奥本海默的建议，建立一个研究基地。1942年，新墨西哥州荒凉的沙漠高地洛斯阿拉莫斯被征用，这里建成了后来闻名于世的洛斯阿拉莫斯实验室。第二年，包括费米在内的第一批原子弹科学家入驻此地。

1943年，奥本海默凭着他的才能与智慧，以及他对于原子弹的深刻洞察力，被任命为洛斯阿拉莫斯实验室主任。正是由于这样一个至关重要的任命，才使他在日后赢得了美国“原子弹之父”的称号。当实验进行到1945年时，发展到拥有二千多名文职研究人员和三千多名军事人员，其中包括一千多名科学家。经过全体人员的艰苦努力，原子弹的许多技术与工程问题得到解决。1945年7月15日凌晨5点30分，世界上第一颗原子弹试验成功。美国政府为整个“曼哈顿计划”付出了22亿美元的代价。8月6日和9日，美国分别在日



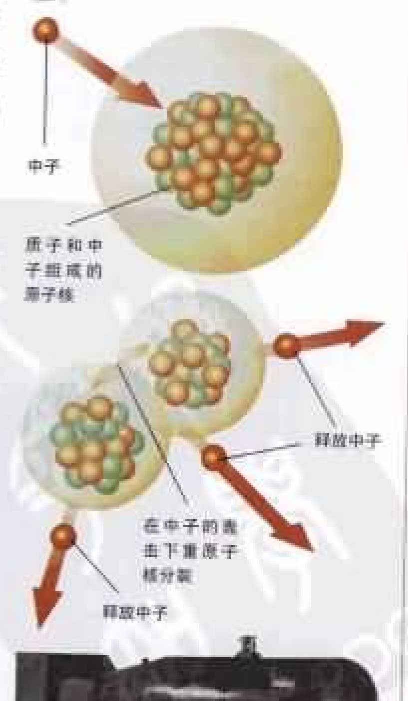
本的广岛和长崎投下了原子弹。日本天皇于14日宣布无条件投降，第二次世界大战以其巨大的杀伤力结束了。后来，爱因斯坦、奥本海默以及费米等许多科学家意识到原子弹对人类的危害，分别投入到反对使用原子弹的活动行列中。

原子弹的破坏力

原子弹是最普通的核武器，也是最早研制出的核武器。它利用原子核裂变反应所释放出的巨大能量，通过光辐射、冲击波、早期核辐射、放射性污染和电磁脉冲，起到强大的杀伤破坏作用。

链式反应的形成

在核裂变过程中，一个中子轰击一个铀原子核，多余的中子使不稳定的原子核发生裂变，原子核在分裂过程中释放能量。此间，当更多的中子被释放出，并轰击其他原子核时，便产生了链式反应。



造福于人类 美国原子弹的研制成功，深深地震撼了其他国家。这样，一场核军备竞赛开始了。1949年，苏联成功地进行了一次核试验。1952年，美国在马绍尔群岛爆炸了比原子弹威力还要强大的氢弹。同年10月，英国的第一颗原子弹研制成功。次年8月，苏联也成功试爆氢弹。法国、中国也相继研制成功。这些核军事装备形成了大战后的冷战格局，即作为一种威慑但谁也不敢首先使用核武器。之后随着冷战的结束，在人们强烈要求和平的呼声下，和平与发展已成为世界的主题，原子核能的和平利用开始提到了议事日程。

当今，一些经济发达的国家，由于经济的高速发展与能源供应的矛盾日趋突出，同时，传统的能源工业造成的环境污染及温室效应严重威胁人类生存环境，因此，不仅缺乏常规能源的国家如法国、日本、意大

世界上最早问世的原子弹——“小男孩”

美国是世界上第一个试爆核武器的国家，也是唯一一个将核武器应用于实战的国家。在第二次世界大战末期，美国使用分别起名为“小男孩”和“胖子”的原子弹，于1945年8月6日和9日，轰炸了日本的广岛、长崎，使这两座城市在大火和疾风中化为一片废墟。图是这颗绰号为“小男孩”的原子裂变炸弹。



利等发展核电站，而且常规能源煤、石油、水电等非常丰富的国家如美国、加拿大等也在大力发展核电站。自1951年起，美国首次在爱达荷国家反应堆试验中心进行核反应堆发电的尝试，发出了100千瓦的核能电力，人类和平利用核能迈出了第一步。1954年6月，原苏联在莫斯科近郊奥布宁斯克建成了世界上第一座向工业电网送电的核电站，虽然功率只有5000KW。1961年7月，美国建成了第一座商用核电站——杨基核电站。该核电站功率近300MW，发电成本只有每度0.92美分，显示出核电站强大的生命力。截至1995年，全世界运转的核电站总数达438座，其中美国运转的核电站总数达109座，核发电量创下6730亿千瓦小时的最高纪录。

与其他能源相比，核电的优越性是很明显的。它经济、浓集而清洁，可是由于裂变反应堆所产生的大量核废料具有严重的放射性污染，而人类至今还没有找到对这些废料的永久性处理办法，越积越多的放射性核废料已成为人类生态环境的潜在威胁。如今，科学家们正在探讨利用更强大更清洁的核聚变来产生新的能源，一旦核聚变能被利用起来，将使人类彻底摆脱能源危机。

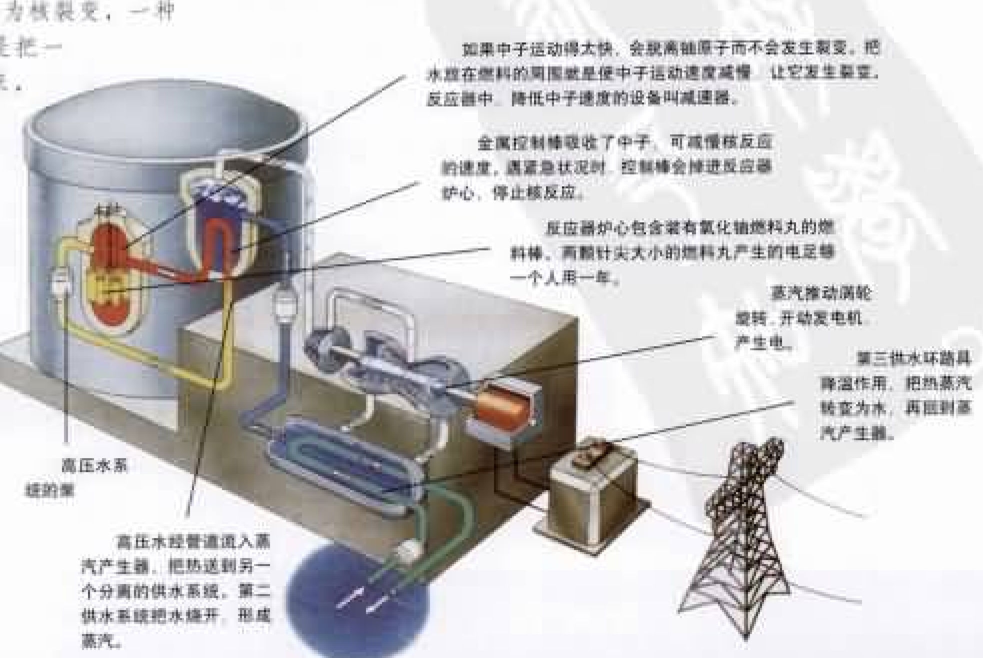


爱德华·特勒

特勒将毕生的精力用以研发美国的核武器。他极力主张发展原子弹和氢弹、核能以及战略防御体系，因此对美国的国防和能源政策产生了深远影响。

核反应器

核反应是在原子核内发生的，主要有两种，一种为核裂变，一种为核聚变。裂变是把一个原子核分裂开来，聚变是将两个轻量原子核聚集在一起。核裂变比核聚变产生的危险废料要多。因为一台核反应器，在核裂变反应中，分裂出的原子核会释放很多个中子，中子又会触发更多的原子核发生裂变，因此可以通过排拱中子来控制反应过程。



电子信息的发展

Episode II

从二极管到集成电路 1883年，爱迪生在研制灯泡中发现了“爱迪生效应”。把金属板与灯丝密封在灯泡内，如给金属板加正电压，则发热的灯丝与金属板之间有电流流过，反之则没有电流流过。1897年，汤姆森发现电子后，人们才知道原来是灯丝加热后有电子射出。

1904年，英国发明家弗莱明发明出了第一只真空二极管。不过当时因无法控制二极管内的电流大小，电流信号还十分微弱。随后，在1906年，美国物理学家德福雷斯特在二极管的基础上发展成了三极管。三极管由于加入了栅极，使电子流的控制成为可能。这样，就实现了放大信号的功能。三极管的发明为无线电通讯和广播开辟了道路。1906年，美国物理学家费森登发明了调幅波，使高频信号带着声音的振幅发射出去。同年，他成功地进行了首次无线电广播，收音机由此诞生了。最初的三极管由于真空度不高，收音效果很差。1914年，高真空管问世，由此开辟了无线电广播的广阔道路。1920年11月2日，美国威斯汀豪斯公司在匹兹堡建成了第一座广播电台。1926年，美国成立全国广播公

约瑟夫·威尔森·斯旺

1809年，英国人戴维发明了电灯；1878年，英国人约瑟夫·威尔森·斯旺发明了使用碳丝可亮13.5小时的电灯；1879年，爱迪生发明了可亮40个小时的电灯，并申请专利。图为约瑟夫·威尔森·斯旺，他曾与发明家爱迪生一起，组建了爱迪生—斯旺联合电灯公司。

电话网络

电话的发明，使世界上任何角落的即时通讯成为了现实。随着现代科技的发展，电话传递讯号的方式也日益多样化，有利用电脑控制的电话交换站将两地电话连接起来的，也有利用海底电缆、无线电波或通讯卫星传送讯号的。



司，无线电广播开始在全美普及。

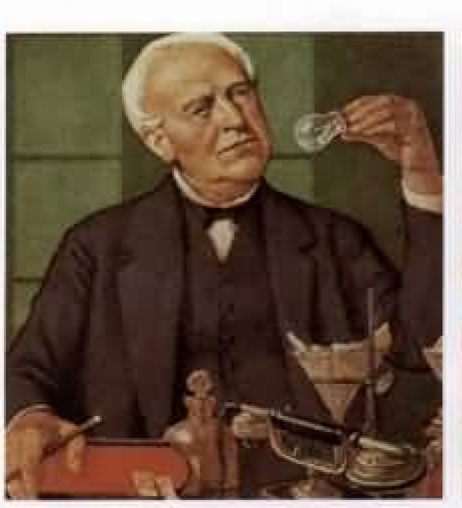
在三极管之后，又出现了四极管、五极管和微波管等。1928年，美国发明家兹沃里金发明了电视显像管。1939年，电视在美国出现。电视的出现，使人们的日常生活变得更富有情趣了。1947年12月23日，美国贝尔电话实验室的肖克莱和布拉坦成功研制了第一只晶体管。1950年，肖克莱等人又发明了晶体三极管。与电子管相比，晶体管具有体积小、重量轻、耗能低、寿命长、制造工艺简单、使用时不需预热等优点，它的问世大大加速了电子技术的发展。

20世纪50年代，美国工程师杰克·基尔比发明出第一块集成电路。它是以半导体晶体材料，经平面工艺加工制造，将电路的组件、器件和互联机集成在基片内部，表面或基片之上微小型化的电路或系统。随着工艺的不断提高，到了70年代，人们已经能制造出在一块硅片上包含有十万个晶体管的超大规模集成电路。电子元件的变革，使电子产品的生产成本急剧下降，大大促进了其在社会上的普及，人类进入了电子化时代。

随着集成电路，尤其是超大规模集成电路的发展，形成了一门新的技术学科——微电子技术。微电子技术促进了器械和仪器设备的巨大发展，特别是在航空航天、自动化、激光技术方面。此外，电子计算机堪称微电子技术的最高成就，电子计算机为后来的网络信息时代提供了必不可少的硬件条件。

爱迪生与他的电影放映机

在电力开发、电器制造、推广电能应用等方面所作的贡献，使爱迪生成为举世闻名的人物，其一生共有近两千项创造发明，电影放映机便是其中一项。1891年，爱迪生发明了活动电影放映机，它放映出的影像只能通过一个小孔来窥视。





爱迪生发明的灯泡

爱迪生所发明的灯泡，是在利用6 000多种物质做灯芯进行实验之后，才最终研制成功的。

费森登与无线广播 费森登（1866—1932年），美国电子和无线电技术专家、无线电广播发明人。他未受过专门教育，曾在爱迪生的实验室工作，并在几家大学任教。1900年，当费森登在美国气象局进行无线电实验时，产生了用无线电波传送人的声音的想法。经过几年努力，费森登创造了利用声音信号对高频连续波进行调幅而后发射，在收信则进行解调以实现无线电通话的方式。1906年底，他用这一方式自马萨诸塞州海岸成功地进行了语言和音乐的无线电广播实验。1907年他又将通信距离延长到320km，延伸到了纽约。费森登一生曾获得500项专利。



兹沃里金与电视 1884年，德国科学家尼普科夫发明了一种机械的图像传送扫描圆盘，由几十条线条组成的图像轮廓构成了电视屏幕的雏形。1923年，美籍科学家兹沃里金研制成功电子扫描装置，奠定了现代电视摄像的基础。1936年，英国广播公司（BBC）在伦敦建成了世界上第一座电视台。

电子计算机与网络信息 让机器代替人脑来计算的想法，早在17世纪就出现了。法国数学家、物理学家、哲学家帕斯卡

无线电线路图

无线电就是利用无线电波传输和接收信息。无线电波的波长比光的波长要长，因此其不可见，但它的性质与光极为相似。下图展示的是一幅简单无线电的电路图，来自天线的无线电信号，通过线圈到达调谐电路。





爱迪生的发明

爱迪生的发明和专利，有些是改良他人原有的发明而成。如图中的电话，是他对贝尔发明的电话改良制成。而留声机、活动电影放映机则是由爱迪生独立发明的。

曾造出了一台能进行加减法的手动计算机，在《沉思录》中他写道："这种计算机所从事的工作，比动物的行为更接近人类的思维。"随着人类的进步，电子管的出现为计算机的制造提供了可能。在第二次世界大战时期，许多新式武器为了提高命中率而需要大量繁杂的计算。1942年8月，为美国军方服务的莫克莱提出试制电子计算机的"爱尼阿克方案"，得到军方支持。经过三年的努力，在花费了48万美元后，1945年底制成了世界上第一台电子计算机。这台电子计算机比当时最好的机电子计算机快千倍，显示了电子计算机的巨大发展前景。

现代电视

电子技术在电视上的应用，使电视开始走出实验室，进入公众生活之中。1933年，兹沃里金又研制成功可供电视摄像用的摄像管和显像管，完成了使电视摄像与显像完全电子化的过程。至此，现代电视系统基本成型。今天电视摄像机和电视接收的成像原理与器具，就是根据他的发明改进而来。



1946年，美国数学家冯·诺依曼对"爱尼阿克"计算机作出了两大改进，他用二进制代替十进制，再将程序存储起来，使运算的全过程均由电子自动控制，进一步提高了运算速度。这些改进，成为现代电子计算机的基础。但这时的电子计算机还完全是一个庞然大物，很快1947年晶体管的出现使电子计算机无论是在速度还是体积上都得到了极大的改变。1960年4月7日，



无线广播的使用

1906年，美国物理学家费森登主持并组织了人类历史上第一次无线电广播。随着技术的不断完善，无线电广播的广泛使用翻开了通讯史上崭新的一页。此图表现19世纪的人们对未来生活的美好预想，男女主人公正通过无线广播在收听报道。



因特网

因特网的诞生，为全球通讯开创了一个新的时代：无论身处世界的何处，人们都能够通过网络来研究和分享信息。图为《纽约时报》在因特网上的首页版面。

IBM公司的"360型计算机"标志着第三代计算机的开始。1968年，高登·摩尔和罗伯特·诺伊斯创立了英特尔公司。至90年代，英特尔继续推出更高性能的微处理器，并统一注册命名为奔腾（Pentium）。

计算机的出现开辟了一个新的时代，对人类生活产生了重大影响。随着计算机越来越普及，人类开始进入信息时代。一场人类历史上的信息传输运动随之而来，这就是互联网的兴起。1991年，瑞士软件工程师伯纳斯·李创建了网上软件平台（www），很快地风靡了整个互联网。这样，一个新的虚拟世界诞生了。网络信息让人们既能在网上得到学习的新机会，又能在网上取得新的经验。它真正把世界变成了一个"地球村"：某地发生了一个事件，瞬间就能传遍全世界；如果你遇到了疑难问题，只要你发布出来，就会有无数人为你出主意。

随着互联网络的发展，人们的精神生活层面将越来越广、越来越丰富。



巴贝奇发明的差分机

1822年，英国数学家巴贝奇研制出了第一台"会制表的机器"——差分机，专门用于航海和天文计算。这是最早采用寄存器来存储数据的计算机，体现了早期程序设计思想的萌芽。

步入太空

Episode III

滑翔机

对浩瀚蓝天的向往和对飞行的渴望，是古代人类恒久的梦想。19世纪90年代，德国工程师奥图·利林塔尔使用一种悬吊的滑翔机飞向天空，这是第一次由飞行员操纵的飞行。

热气球

热气球是人类升空最早的载体，它依靠加热球体内部的温度而产生浮（升）力升空，飞行方向随空中风向变化而改变。



热气球升空

1783年11月，孟特格菲尔兄弟设计的热气球升空。此图是这个热气球从法国巴黎市中心起飞时的情景。这是人类所尝试的第一次无动力飞行。

从热气球到滑翔机　能像鸟儿一样飞翔在空中是人类自古以来的梦想。在经历了无数失败之后，人类首次成功飞上天空是利用了热气球。1783年，法国孟特格菲尔兄弟成功地把热气球上升到1 830m的高空，并飘飞了1.6km，成为热气球升空的创始人。1911至1912年间，奥地利物理学家赫斯使气球上升到5 000m的高空。热气球升空的不足之处在于，在高空中如不继续加热，一旦冷却下来就会降落到地面。1766年，英国人卡文迪许发现了氢，并了解到氢气比普通空气轻，这为氢气球飞行提供了条件。在孟特格菲尔兄弟试飞热气球的同时，法国物理学家查理决定把氢气引入气球中。两天后，他和他的助手坐着自制的氢气球在巴黎上空航行了两个多小时。这引起了整个法国的轰动，人们陷入了对升空气球的狂热之中。后来，发明家们对这种氢气球作了一系列改进，如添加螺旋桨空气推进系统和方向操控器，以及改圆形为椭圆形，于是气球就变成了飞艇。



无论是热气球还是飞艇，都是利用空气浮力来升空。要想有更大的进步，就得实现机械飞行。1853年，英国发明家凯利在这方面做出了开创性的先驱工作。他把人造飞行器械的功能分为升举和推进两种，变以前的活动机翼为固定机翼。在大量的实验下，他制成了第一架

载人滑翔机，并成功地载着一个10岁的小孩飞上了天空。之后，不断有飞行爱好者进行了前赴后继的飞行试验。

从飞机到火箭 1903年，美国飞行爱好者莱特兄弟在滑翔机的基础上加载动力机，造出了第一架动力飞行器——“飞行者1号”。12月17日，在美国北卡罗莱纳州基蒂霍克的一片荒沙丘上，莱特兄弟开始了他们的杰作——“飞行者1号”的试飞。虽然这次试飞时间最长的一次只59秒，飞行距离也只有260米，但它用事实打破了“比空气重的机器不能飞行”的断言，开辟了人类航空科学技术的新纪元！这次试飞成功，极大地鼓舞了兄弟俩，他们继续改进飞机性能。1908年，他们又用“飞行者1号”创造出连续飞行2小时20分23秒的新纪录，使飞机在世界上赢得了声誉。因此，他们的“飞行者1号”被人们公认为世界上第一架飞机。

1909年7月，法国人布雷里奥驾驶飞机飞越了英吉利海峡，这次首次的飞机跨国航行引起了军事战略家的极大关注。时逢第一次世界大战，飞机技术在战争中又得到了长足发展。1909年，美国成为第一个拥有军用飞机的国家。一战爆发时，各国已有千架飞机参战。1918年4月1日，英



莱特兄弟

美国的莱特兄弟是人类历史上第一架动力飞机的设计师。他们早年从事自行车修理和制造，从1899年开始了他们的机械航空试验。与其他同时代进行类似实验的人不同，莱特兄弟更加侧重于加强飞行器控制技术，他们所建立的一些控制原理，至今仍在被使用。

第一架飞机试飞成功

1903年12月17日，全世界都以惊奇的心情注视着莱特兄弟。在这一天，他们制造的第一架飞机“飞行者1号”，在美国北卡罗莱纳州试飞成功。

莱特兄弟的自行车铺

1894年，莱特兄弟在代顿市开了一家自行车铺，从事自行车的修理和制造。他们所有重要的研究，都是在自行车销售旺季的间隙里完成的。





国率先成立了英国皇家空军。二战时期，空军起着举足轻重的作用。各个国家都配备有众多的飞机和飞行员以适应战争需求。

1939年，德国首先研制成功第一架喷气式飞机。1949年，英国德·哈威兰公司研制出第一架喷气式大型客机“彗星1号”，使载客量提高一倍，飞行速度超过800公里/小时，高度达1万米。60年代初，喷气式飞机进入了第二代。其特点是机身越来越光滑，机翼面积减小，翼型变薄，以减小飞机阻力。60年代末，喷气式飞机开始进入现代飞机阶段。第三代喷气式飞机的动力装置主要向增加推力、降低耗油量、减少噪声、减少排放废气污染、增加寿命的方向发展，出现了能满足上述要求的高涵道比涡轮风扇发动机。1947年10月14日，由美国飞机设计师贝尔突破了声障，实现超音速飞行。他设计的X—1号飞机首次突破航空技术的发展，为后来的航天事业打下了基础。人类对大气层内地球空间的控制已经得到实现，那么人类能不能飞越大气层到宇宙空间中去呢？早

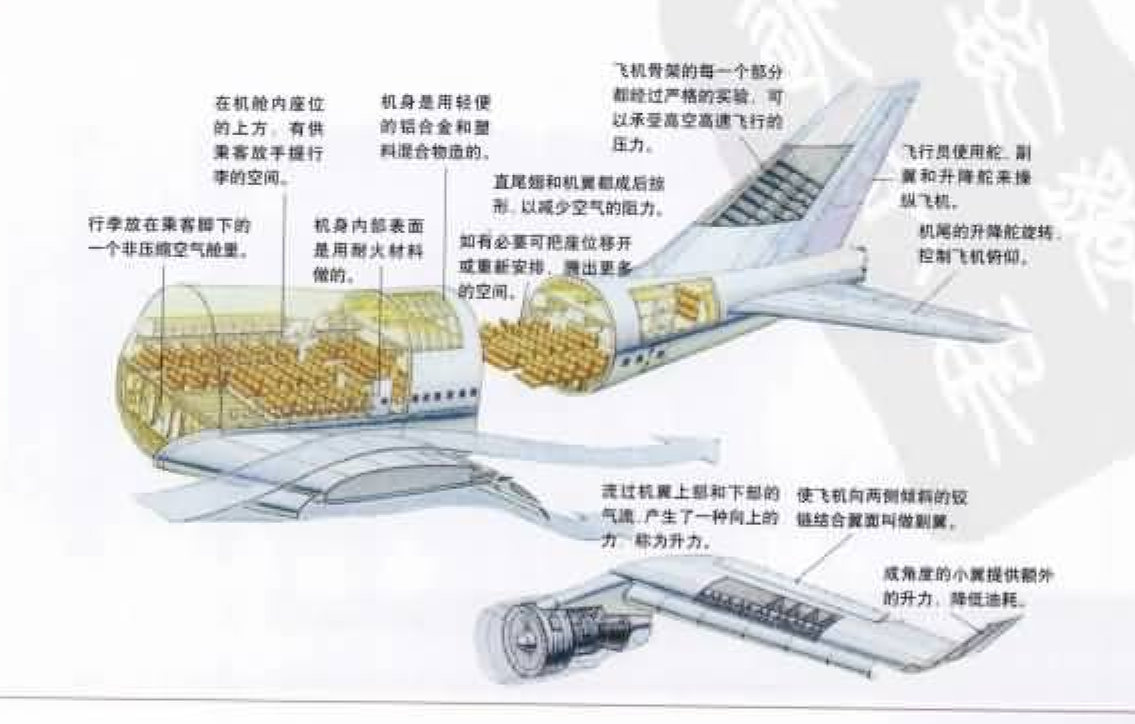


▲ 莱特兄弟的“飞行者1号”

莱特兄弟研制的“飞行者1号”，是世界公认的、最早的、能在空中持续飞行的飞机。它先后经过了4次试飞，历时共98秒，其中第4次飞行持续59秒，飞行260米。

▼ 客机结构图

飞机的发明在一定程度上改变了20世纪的人类历史。在其发明后不久，便开始广泛应用于各个领域，如在民用领域，每年都有成万上亿的人乘坐客机前往世界各地。它已成为当今世界不可缺少的交通工具。



在1903年，现代火箭航天技术先驱、俄国科学家齐奥尔科夫斯基发表《以喷气装置探测宇宙空间》的论文，第一次提出了以火箭作为动力航天的思想。除了指出航天火箭必须使用液体燃料外，他还证明了要脱离地球引力必须使用多级火箭。可惜的是，这些有意义的设想没有受到当局足够的重视。在他的墓碑上刻着一句话："人类不会永远将自己束缚在地球上。"

1926年3月16日，美国人高达德在麻省成功发射首枚以液氧和汽油为燃料的液体火箭。在高达德试验的鼓舞下，德国科学家奥伯特于1929年开始研制液体火箭。1930年，奥伯特的学生冯·布劳恩发明了液氧和煤油混合燃料作为火箭动力。从1933年起至1936年分别制成了"A-1"、"A-2"、"A-3"火箭，其射程已经达到18公里。1942年，"A-4"射程达190公里。在二战的需求下，火箭很快被作为新式大炮投入到战争中。在火箭上装上弹头和良好的导向装备，就成了导弹。1956年，苏联科学家在科罗廖夫领导下，发射成功了第一枚洲际导弹"苏联1号"。这就意味着苏联人可以把原子弹打往世界任何一个地方。

战后，美苏两国展开了激烈的太空争夺战。1957年10月4日，苏联用"苏联1号"三级火箭成功地发射了第一颗人造地球卫星。这次成功，使美国震惊了。美国艾森豪威尔总统决心在最快的时间内，赶上苏联的空间技术。1958年1月31日，美国的第一颗人造地球卫星"探险者1号"由火箭送上了轨道。在20世纪60年代，两个超级大国又相继发射了一系列的卫星和人造行

谢尔盖·科罗廖夫

苏联航天技术的奠基者和开创人，著名的火箭和航天系统总设计师。他是第一枚射程超过8000公里的洲际火箭（弹道导弹）的设计者，第一颗人造地球卫星运载火箭的设计者，第一艘载人航天飞船的总设计师。除此之外，科罗廖夫还为苏联航天事业创造了众多的世界第一，如第一个月球探测器、第一个金星探测器、第一个火星探测器等。



喷气推进

喷气推进方式可以使飞机高速飞行，而在高空飞行时，喷气发动机比螺旋桨推动的方式更加有效。





"土星5号"火箭

"土星5号"火箭高110米,为多级可抛式液体燃料火箭,是目前使用过的最大、最重、推力最强的运载火箭。土星5号的发射一共有三级,第一级的燃料为高精炼煤油,第二、三级燃料为液态氢,每一级都使用液态氧作为氧化剂。

星,在这场空间争夺竞赛中,苏联一直跑在美国的前面。

卫星的成功发射,使人类的遥感技术在20世纪60年代蓬勃发展起来了。美国航空与航天局60年代发射的"雨云"、"泰罗斯"等气象卫星和"双子星座"、"阿波罗"等载人宇宙飞船用照相机拍摄的世界第一批地球卫星照片,开创了航天遥感的新纪元。现在,美国的卫星已能够看清地面上某个人手里所持的东西!目前,卫星已广泛地应用于侦察、通信、导航、測地、气象、农业、天文、地球资源以至考古、救难等各个方面。如"地球村"的通信。通信卫星技术的普及与提高、光纤技术以及计算机网络的发展,使得举行电视会议、远程教育、在家办公购物等成为可能。

"阿波罗计划"与航天事业的发展 飞向太空,一直是人类的梦想,而航天器的返回,则是其中的一项关键技术,这对于提高各类航天器的使用价值和发展载人飞船有着重大的意义。1960年8月11日,美国在经历12次失败后,第一次回收到从卫星上弹射出来的回收舱。回收技术的发展,为载人飞船创造了条件。1961年4月21日,苏联成功地发射了第一颗载人卫星,把宇航员加加林送入地球轨道,运行108分钟后安全返回。加加林成为人类历史上第一个成功上天的宇航员。在加加林飞出了地球的43天之后,美国总统肯尼迪正式宣布:"美国要在十年内,把一个美国人送上月球,并使他重新返回地面。"这就是著名的"阿波罗计划"。

"阿波罗计划"分"水星计划"、"双子星座计划"、"土星计划"三步。1963年,"水星1号"载人发射,飞行了34小时,绕地球21圈,"水星计划"成功结束。1965年,"双子星座3号"飞船做了变轨实验,同年,"双子星座6号"和"双子星座7号"做了太空会合实验,双子星座号在太空中飞行了14天,宇航员的身体安然无恙。1965年4月,在冯·布朗领导下,研制出了"土星5号"火箭。这些,为"阿波罗计划"的实施奠定了基础。

1969年7月16日,美国东部时间9时32分,"阿波罗11

号”载着三名宇航员（阿姆斯特朗、奥尔德林、柯林斯）于佛罗里达州的肯尼迪航天中心起飞。阿波罗飞船由指令舱、服务舱和登月舱三部分组成。指令舱是飞船的核心部分，而且最终由它将宇航员送回地球；服务舱主要装燃料和宇航员的生活资料，包括氧气、食物和水；登月舱在登月时与母舱分离，宇航员由此登月。7月20日，美国东部时间下午4时17分40秒，名为“鹰”的登月舱在月面上“静海”西南部安全降落。



美国宇航员尼尔·阿姆斯特朗

这是阿姆斯特朗身着宇航服在登月计划探索训练期拍摄的。1969年他作为“阿波罗11号”登月计划的指挥员成功登上月球，并安然无恙返回，开辟了人类登月史上的新纪元。

宇航员阿姆斯特朗在月球上留下了地球人的第一个脚印。他后来说：“这一步，对一个人来讲只是一小步，而对整个人类却是一次飞跃。”阿姆斯特朗和奥尔德林两人在月球上待了两个半小时，采集了60磅月球上的石块和土壤标本。随后，他们驾驶“登月舱”离开了月球，与在空中等候的柯林斯驾驶的“哥伦比亚号”会合，并开始返回地球。7月24日，指令舱重新进入大气层，安全降落在太平洋上。耗费了250亿美元完成的“阿波罗计划”的成功是20世纪科学发展到高峰的有力证明。



踏上月球的第一个脚印

发射计划耗费了巨额资金和大量的人力、物力，人们开始考虑航天器的重复使用问题，甚至设想让它永远待在空中，作为科学考察之用。在这一思想的指导下，出现了空间站和航天飞机。苏联重点发展空间站，美国重点发展航天飞机。

空间站是环绕地球运行的半永久性的空间实验室，用来进行长时间的科学和应用研究。世界上第一个空间站是“礼炮1号”，它是1971年4月19日苏联发射的小型实验性空间站。1977年9月29日，苏联又



人造地球卫星的结构

人造地球卫星由众多系统组成，包括：结构系统、温度控制系统、能源系统、跟踪系统、轨道控制系统等等。返回式卫星还有回收系统。

“海盗号”太空探测器

美国航天局于1975年实施了“海盗号”火星着陆探测计划，1976年“海盗号”成功登陆火星表面，并发送回火星表面的影像，为人类探索未知火星生命揭开了序幕。





航天飞机发射卫星的瞬间

发射了“礼炮6号”，是最早的正式空间站。1986年2月20日，苏联的第三代空间站——“和平号”空间站成功地发射升空。1995年6月29日，美国“亚特兰蒂斯号”航天飞机与“和平号”对接成功，轨道空间站一下子变成了庞然大物。

而同一时期的美国，则将研究重点放在航天飞机的开发上。航天飞机是一种可重复使用的新型宇宙飞行器，它是运载工具和飞行器的统一体。美国的“哥伦比亚号”航天飞机于1981年2月20日进行了点火试验，完成了起飞前的主要准备工作。4月12日，“哥伦比亚号”首次飞上高空，并安全返回地面，经过地面修理后，又三次飞入太空，证明它具有反复进入太空的能力。1982年11月11日，“哥伦比亚号”完成了第五次飞行，这是航天飞机第一次进行业务飞行，主要任务是从航天飞机货舱送出两颗通信卫星。航天飞机现在已成为重要的航天工具。

航天飞机内部

航天飞机由轨道器、固体火箭助推器和外挂燃料箱三部分组成。它可以像普通火箭一样被发射进入地球轨道。与火箭不同的是它可以重复运用。航天飞机降落地面后只要装上燃料筒便可执行下次发射任务。设备中的固体火箭助推器在燃毕之后，可由降落伞降落地面重新回收利用，发射成本降低。图为航天飞机内部构造，它的货舱可搭载人造卫星，待其放入地球轨道。



新兴科学的出现

Episode IV

新的时空观——霍金与普里戈金 霍金，英国理论物理学家，剑桥大学应用数学及理论物理学系教授，当代最重要的广义相对论和宇宙论家。20世纪70年代，他与彭罗斯一道证明了著名的奇性定理，为此获得了1988年的沃尔夫物理奖，他也因此被誉为继爱因斯坦之后世界上最著名的科学思想家和最杰出的理论物理学家。霍金因患卢伽雷氏症（肌萎缩性侧索硬化症），瘫痪在一张轮椅上达20年之久，不能写作、口齿不清，但他的思想却自由地遨游在广袤的时空，为我们解开了宇宙之谜。他还曾在演讲里，向听众解释“利用光速，从‘黑洞’进去，从‘白洞’到宇宙另一区域去做时空旅行”的设想。

霍金还是一个科普作家，他认为，没有受过专业训练的人也能理解关于宇宙的起源和命运的基本思想。1988年，他的宇宙论科普著作《时间简史》出版，书中引导读者遨游外层空间奇异领域，对遥远星系、黑洞、夸克、大统一理论、“带味”粒子和“自旋”的粒子、反物质、“时

霍 金

身残志坚的霍金一直致力于宇宙起源以及黑洞问题的研究，尽管他的活动范围仅限于一台



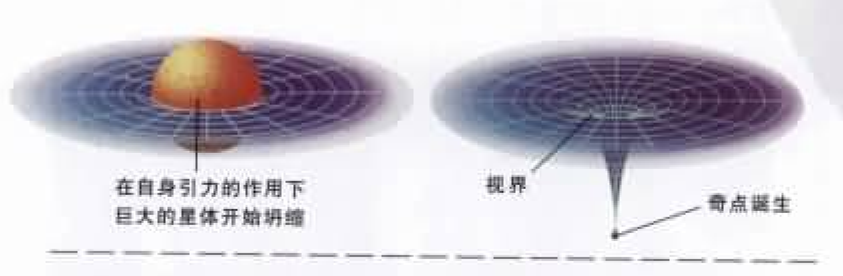
电动轮椅，他的思想却飞扬到宇宙深处。





黑洞处于星群中间

很多人顾名思义地认为“黑洞”是一个黑色大窟窿，其实不然。黑洞是一个密度超大的天体，它的周围隐匿着巨大的引力场，任何靠近它的事物都会被它的引力约束，连光都逃不出它的手掌。黑洞内的任何边界及内部都不会被外界看到，人们只有通过研究受它影响的周围物体来间接了解黑洞。



黑洞形成过程示意图

据科学猜测，黑洞是死亡恒星或爆炸气团的剩余物坍塌收缩时产生的。它的产生过程与中子星相似，恒星核心在自身重量作用下，迅速收缩发生爆炸，爆炸在其周围网状弹性空间形成凹陷，而星体最终变成体积为零、密度无限大的一个点。当一切物体从它身边经过，都会被吸引进去，这个点也就是数学上的“奇点”。





白矮星

当一个星体步入"老年期"时，由于气云的引力收缩，氢原子发生巨变，热核反应耗尽了中心的燃料氢后，星体首先会变成红色的球体，最终进一步收缩变成白矮星。

"绕路的光"

爱因斯坦的广义相对论指出，由于空间存在引力场，在它作用下空间会被弯曲，黑洞周围引力场非常大，因此这种变形也大。被黑洞挡着的恒星发出的光，除一部分光线被黑洞俘获，还有一部分会绕过黑洞到达地球，这样我们就会看到黑洞背后的星空。

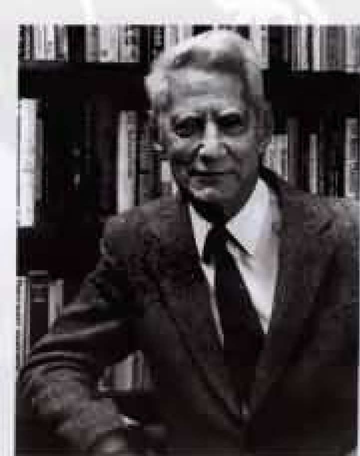
间箭头"等进行探索。《时间简史》用几十种文字向全世界发行，为他赢得了广泛的声誉。

在科学中真正揭示时间不可逆性的是热力学第二定律。这个定律用熵增加原理第一次把进化观念引入物理学。科学家普里戈金非常重视热力学第二定律。他以热力学第二定律所揭示的时间不可逆性为基础，着重研究远离平衡态的不可逆过程，提出了耗散结构理论。他把历史因素引入物理学和化学，进而把物理学、化学同其他学科统一起来。于是，时间不再是一个简单的运动参量，而是非平衡世界中内部进化的度量。

普里戈金还把时间概念区分为不同层次：1.与动力学相联系的时间，在这个水平上的时间是可逆的，仅仅是运动的几何参量；2.与热力学相联系的时间，在这个水平上的时间与不可逆过程有关，时间是不可逆的；3.与耗散结构相联系的时间，在这个水平上的时间与"历史"、"进化"相联系，是一种进化的时间观。普里戈金的时间概念，是对时间发展的一个重大突破。可以说，他重新发现了时间。

系统科学 系统科学是20世纪中叶以来发展最快的一大门综合性科学。即以系统思想为中心、综合多门学科的内容而形成的一个新的综合性科学门类。系统科



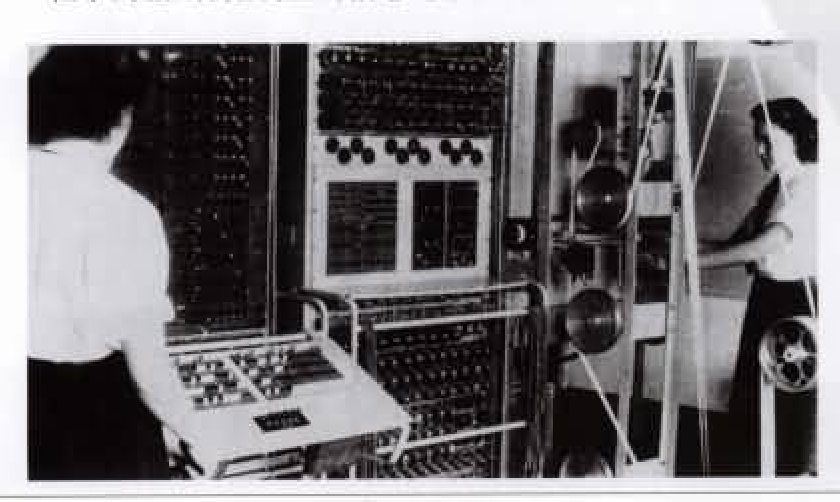


学通常包括了二战后兴起的信息论、控制论和系统论，60年代后出现的耗散结构论、协同学、突变论、运筹学、模糊数学、物元分析、泛系方法论、系统动力学、灰色系统论、系统工程学、计算机科学、人工智能学、知识工程学、传播学等一大批学科。



申农与信息论 美国应用数学家申农是创造信息时代的巨人之一。1948年他发表了一篇划时代的论文《通信的数学理论》，这篇论文标志了信息论的诞生。发表论文时，申农才32岁，在贝尔实验室任研究员。文中，他说明了怎样定义并准确量化一度还很模糊的信息概念，指出了各种信息媒介之间必然的联系：文字、电话信号、无线电波、影像等通讯交流方式，都能够编码为一种二进制的通用语言——比特，这也是"比特"（bit）一词第一次出现在文字上。申农提出的理论直接催生了CD技术的发展和成熟。

他证明了逻辑代数中的真值和假值可以用数字1和0来表示，这意味着中继电路可以进行二进制运算。这一发现的深远意义在于，判断能力已不再是人类特有的财产，它激发了人工智能研究领域的灵感，能够进行判断操作的电路也成为了二战后数字计算机诞生的契机。这篇论文，被人称为"二十世纪最伟大的论文"。申农的定理成为了现代通信工程学的基础。他创立的信息论被认为是人类最值得骄傲的



霍金的无边界理论

他的无边界理论否定了时间的"边缘"概念。他认为，宇宙的历史是一场从地球表面上北极到南极的旅行。地球的表面虽是有限的，但它又是无边界的。宇宙的起点与地球的北极类似，只是一个点而非起点。

普里戈金

普里戈金，1917年1月25日生于莫斯科，大学攻读物理学和化学，非平衡系统热力学与耗散结构理论的奠基人，因不可逆过程热力学的杰出贡献，获1977年的诺贝尔化学奖。

申　农

申农被称为"数字化时代之父"，是信息论理论的奠基人之一。"信息论"是一门新兴的学科，就是运用数学方法对信息的计量、传递、变换和储存等进行研究。早在20世纪40年代，申农在贝尔电话公司工作时，就开始涉及这方面的研究了。

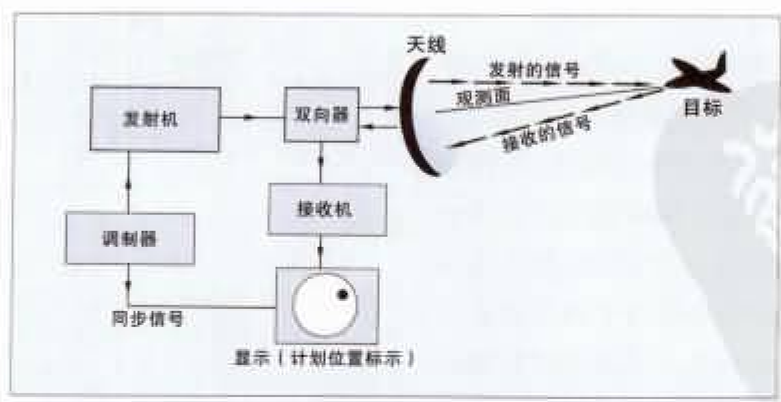
全电子数字计算机

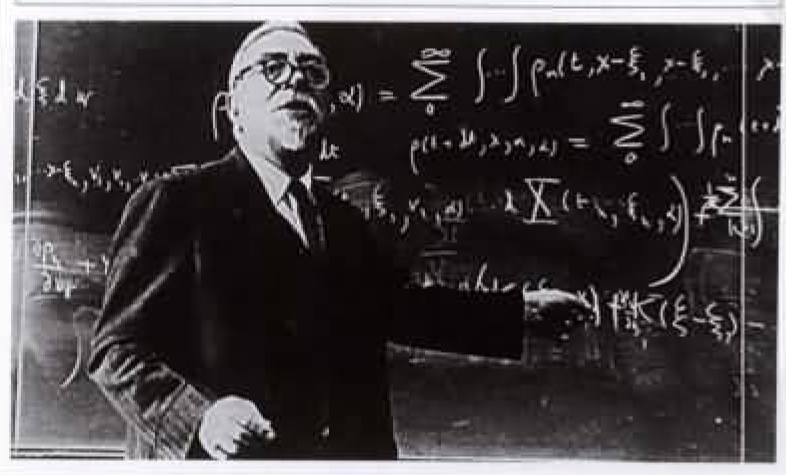
图灵是早期计算机发展史上较有影响的一个人，他于1937年提出了"图灵机"的计算机数学模式。图为图灵帮助设计的世界上第一台电子数字计算机"巨人"，它体积庞大，非常笨重，采用"十进位制"。这台计算机曾被用来破解1942年初德国海军使用的复杂的"洛伦兹"密码。

创造之一，它深刻影响了人类对世界的看法。

维纳与控制论 维纳（1894—1964年），美国数学家、控制论的创始人。维纳在研究防空火力自动控制装置的过程中，抓住了自动控制过程中的两个核心概念，即"信息"和"反馈"。构造了控制论的基本框架。1948年，维纳出版了《控制论》一书，这本书宣告了控制论学科的诞生。维纳的理论，使反馈过程在控制中的作用普遍化，任何一个有效行为必须通过反馈信息来判定自身是否达到了目标。控制论后来发展到了计算机科学、心理学、生理解剖学、人类学和经济学等领域。

维纳的主要成果有八个方面：建立维纳测度，引进巴拿赫—维纳空间，位势理论，发展调和分析，发现维纳—霍普夫方法，提出维纳滤波理论，开创维纳信息论，创立控制论。维纳是个非常博学的学者，一生先后涉足哲学、数学、物理学和工程学，最后转向生物学，并且在各个领域中都取得了丰硕的成果。他一生发表论文240多篇，著作14本及自传《昔日神童》和《我是一个数学家》。





贝塔朗菲与系统论 贝塔朗菲（1901—1971年），美国理论生物学家、一般系统论的创始人。他在1924至1928年

雷达应用原理

二战期间，飞机自动驾驶仪、雷达跟踪系统、火炮瞄准系统等军事装备的建造需要，推动了控制论理论的向前发展。早在1868年麦克斯威尔提出了反馈控制的概念，使维纳经典控制理论逐步成熟。图为雷达应用原理示意图，可利用控制系统追踪目标。

维 纳

维纳控制论创始人。他将控制论与通信处理联系在一起，认为要对对象进行控制，必须要对对象的状态、下达的命令以及命令的执行情况时刻了解。

间发表了系列文章，阐述系统论的思想。他反对生物学中机械论的思想，强调生物学中有机体概念，主张把有机体当做一个整体或系统来考虑，认为生物学的主要任务应当是发现生物系统中一切层次上的组织原理。1932 年，他发表了《理论生物学》。1934年又出版了《现代发展理论》，进一步论述了整体性原则，提出用数学和模型来研究生物学的方法和机体系统论的概念。

1937 年，他提出了一般系统论原理。1949年发表《关于一般系统论》，1955年出版专著《一般系统论》。贝塔朗菲概括地吸取了生物机体论的思想，并加以发展，提出了新的机体论思想，其主要观点有三：一是系统观点，认为有机体都是一个系统，并把系统定义为相互作用的诸要素的复合体；二是动态观点，认为一切生命现象本身都处于积极的活动状态，活的东西的基本特征是组织，主张从生物体和环境的相互作用中说明生命的本质，并把生命机体看成是一个能保持动态稳定的系统；三是等级观念，认为各种有机体都是按严格的等级组织起来的，生物系统是分等级的，从活的分子到多细胞个体，再到超个体的聚合体，可谓层次分明，等级森严。



贝塔朗菲

贝塔朗菲，有机系统理论的创始人。他还将系统理论研究从有机体生物学方向转向具有普遍意义和世界观意义层面的一般系统理论。

细胞分裂图

一般系统论是研究系统中整体和部分、结构和功能、系统和环境等之间的相互联系。贝塔朗菲在他的一般系统理论里面提出，生命系统是比物理系统更为复杂的系统，它遵循着独特的规律，而细胞是组成系统的单位，其自身内部也孕育着复杂的结构。

贝塔朗菲的上述思想，既受到一些科学家的赞赏，又受到一些科学家的责难，几经波折，直到第二次世界大战以后，他的系统论思想才逐渐得到承认，系统论作为一门新学科才得以成立，并不断发展。50年代，贝塔朗菲为宣传和发展系统论做了艰苦的努力；60至70年代，系统论思想才真正受到人们的重视。

托姆与突变论　托姆，法国数学家。20世纪50年代初期，托姆致力于高维流形分类问题的研究，创立了“配边理论”，指出了任何两个流形属于同一类的充分必要条件，从而完

成了流形的粗分类工作。配边理论不仅是微分流形理论研究的一大成就，而且有着重要的应用价值。由于托姆在配边理论方面的开创性工作，他荣获了1958年菲尔兹奖，这是目前国际上数学的最高荣誉奖。

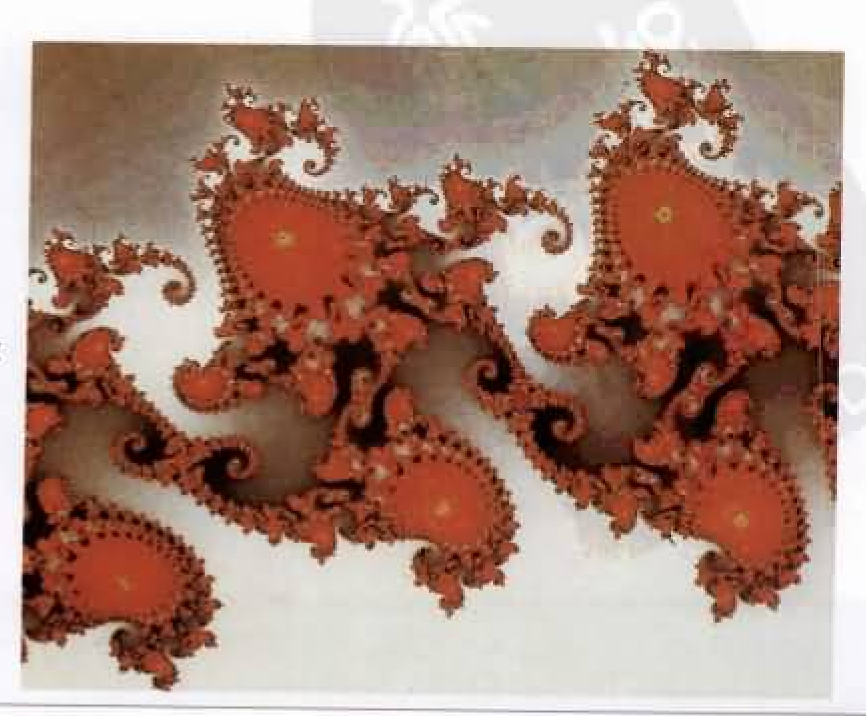
20世纪60年代以来，托姆主要从事高维空间曲面的研究。他用微分拓扑的方法来分析曲面的各种奇点，并进行分类，在发展奇点理论方面获得一系列重要成果。从1966年开始，托姆对于如何用数学来说明自然界的现象产生了浓厚兴趣。他运用奇点理论研究自然界各种事物的不连续的突然变化；特别是生物学上的形态突变，建立了适于说明突变现象的数学模型，并推演出这些模型应具有的性质。1968年，托姆在"走向理论生物学"的国际会议上系统阐述了自己的观点，并将其中比较令人费解的数学部分以"生物学中的拓扑模型"为题写成文章发表于1969年的《拓扑学》杂志上。1972年，他写的《结构稳定性与形态发生学》一书出版。这标志着他创立的突变理论正式诞生。突变理论的出现使托姆名声大振，其影响很快超出数学界，成为社会上各行各界广为知晓的人物。



托姆

"几何思维可说是人类理性活动的正常发展中不能省略的阶段"，这是突变理论的创始人托姆所倡导的。20世纪，西方一些国家课程改革中逐渐取消了欧氏几何体系，托姆对此表示强烈反对，要求恢复欧氏几何体系教学。

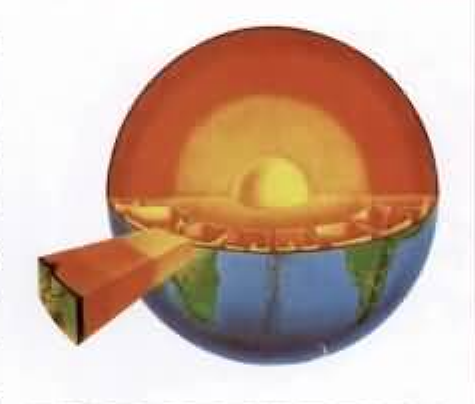
艾根与超循环理论 艾根，德国生物物理化学家。艾根认



计算机绘制的有关解析函数的迭代所形成的图形

突变理论是一门新兴的数学分支，它用数学工具研究系统状态的不连续变化现象，给出一个稳定态的参数范围。当参数在这个范围内变化时，系统状态随之变化；当参数值超出给定的范围时，系统状态会发生突变。

为，分子的超循环的自组织进化阶段，是理解自然界由化学进化过渡到生物学进化的关键。他研究范围广泛，涉及物理化学、生物化学、生物物理和分子生物学等很多领域。他发明了一种很短的能脉冲技术来引发快速发应，取得很大成功。他用弛豫法研究快速平衡反应，能对9至10秒内完成的快速反应进行观测和研究，借助于各种仪器对转瞬即逝的反应机理进行探讨，因而分享了1967年的诺贝尔化学奖。从70年代开始，他提出超循环理论，以解释生命起源的问题。



地球剖面图

自然界内很多连续、平滑、渐变的运动变化过程，都可以用微积分来解释。但对于岩石的破裂、桥梁的断裂以及细胞的分裂等现象，它们的变化是从形态的一种形式飞跃到根本不同的另一种形式，这种现象是无法用微积分解释的。而托姆突变理论则可以解释这种非常规、非稳定状态的变化。突变并不是毫无预兆的，有的突变有一定规律，掌握突变规律，对预防危机性事件有重大意义。

生态科学 生态学是研究生物与其自然环境相互作用规律的生物学分支学科。它把生物与自然环境作为一个整体，研究生态系统中生物与环境的相互关系，生态系统的结构与功能，生态系统的协同演变、调节控制和平衡发展规律。从生物个体、种群、群落和生态系统等不同层次阐明生态学的基本原理、方法和应用。

1866年，德国生物学家海克尔在《普通生物形态



平衡的生态

一个完美的生态平衡系统并不是完全静止的，它可能随时发生变化，但系统内生物的数量会维持稳定。生态系统内的各生物相互依赖和影响，大树提供动物呼吸所需氧气以及食物，死亡动物遗体被分解释放能量被大树根部吸收。





酸雨毁坏数顷森林

地球上没有任何生命个体或物种是可以孤立存在的，所有的生物都与环境相互影响。然而现代人类的很多行为已在不知不觉中破坏了原有的生态平衡，引起地球自然环境的恶化。





生态循环

生态系统都由生物群落和物理环境两部分组成。生态系统内活跃的对象主要有生产者、消费者和分解者，它们在各自的舞台上承担不同的角色。在此生态系统中，绿色植物作为生产者直接利用太阳能进行光合作用，利用无机营养元素合成有机物储存在体内；而消费者主要由动物承担，它们直接食用植物或动物，消费者也有等级之分；分解者主要由微生物承担，它的主要工作是将有机物分解成简单无机物，重新进入生态循环系统。

学》中首次使用了“生态学”这个词。19世纪，有两本生态学方面的代表性著作，那就是1895年丹麦植物学家瓦尔明发表的《以植物生态地理学为基础的植物分布学》和1898年波恩大学教授希姆普出版的《以生理为基础的植物地理学》。到20世纪50年代后，生态学打破了植物学的界限，扩展到了超出生物学以外的更广阔的领域。人们开始认识到这是一门研究生物与其环境相关的科学。

在生物与其生存环境之间，环境为生物提供了必要的生存条件，不断地影响和改变着生物，使生物由简单到复杂、由低级到高级不断地进化；同时生物也在生长过程中对周围环境产生反作用。这个相互关系可以概括为：作用与反作用、对立与统一、相互依赖与制约、物质循环与代谢等几个方面。

20世纪，人们对生态研究的对象层面越来越丰富，在研究方法上引入了系统科学的成果，诞生了系统生态学。用计算机模拟生态系统的行为是人们最常用的研究方法。现代生态学有许多分支学科，归纳起来可分为两大类：种群生态学和群落生态学。前者主要研究某一区域内一种生物群体生长、繁殖、活动、死亡的规律；后者主要研究某区域内许多不同种生物群落生长、繁殖、活动、死亡的规律。面对目前日益恶化的环境和生态危机的现实，生态学研究是人类环境保护的重要基础理论之一。